



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2001102436 A

(43) Date of publication of application: 13.04.01

(51) Int. Cl. H01L 21/68
C23C 14/50
C23C 16/458
// B23Q 3/15

(21) Application number: 2000174436

(22) Date of filing: 08.05.00

(30) Priority: 07.05.99 US 1999 306934
07.05.99 US 1999 306944
07.05.99 US 1999 307214
07.05.99 US 1999 307215

(71) Applicant: APPLIED MATERIALS INC

(72) Inventor: SHAMOUILIAN SHAMOUIL
AANANDA H KUMAA
ARNOLD KOORODENKO
YUU WANG
ALEXANDER M VIITSUAA
SURINDAA S BEDEII
KADOTAARA R
NARENDORUNAATA
SEMION L KATTSU
GRIMARD DENNIS S
WINN L CHAN

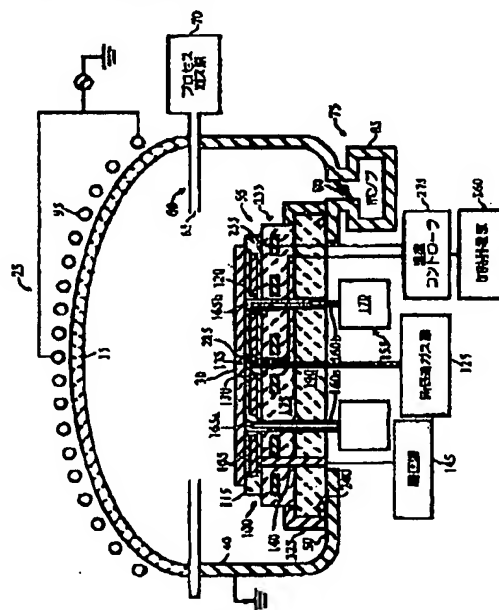
(54) ELECTROSTATIC CHUCK AND ITS MANUFACTURING METHOD

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrostatic chuck for holding a substrate in a chamber and a method of manufacturing the same.

SOLUTION: An electrostatic chuck 55 comprises an electrostatic member 100 including a dielectric 115 having a surface 120 adapted to receive a substrate 30. The dielectric 115 covers an electrode 105 that is chargeable to electrostatically hold the substrate 30. An electrical connector 140 comprising a refractory metal may be connected to the electrode 105 to charge it. A base 175 may comprise a composite of a plurality of materials, such as, ceramic and metal. Optionally, a support 190 can be provided to support the base 175, where the support 190 is provided with a cavity 300. One or more of the electrostatic member 100, base 175 and support 190 may be jointed by a bonding layer 250. A heater 235 may be positioned below or in contact with the electrostatic member 100.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-102436

(P2001-102436A)

(43) 公開日 平成13年4月13日 (2001.4.13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L 21/68		H 0 1 L 21/68	R
C 2 3 C 14/50		C 2 3 C 14/50	A
	16/458		16/458
// B 2 3 Q 3/15		B 2 3 Q 3/15	D

審査請求 未請求 請求項の数69 O L 外国語出願 (全 70 頁)

(21) 出願番号 特願2000-174436(P2000-174436)

(22) 出願日 平成12年5月8日 (2000.5.8)

(31) 優先権主張番号 09/306934

(32) 優先日 平成11年5月7日 (1999.5.7)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/306944

(32) 優先日 平成11年5月7日 (1999.5.7)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/307214

(32) 優先日 平成11年5月7日 (1999.5.7)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(74) 代理人 100059959

弁理士 中村 稔 (外9名)

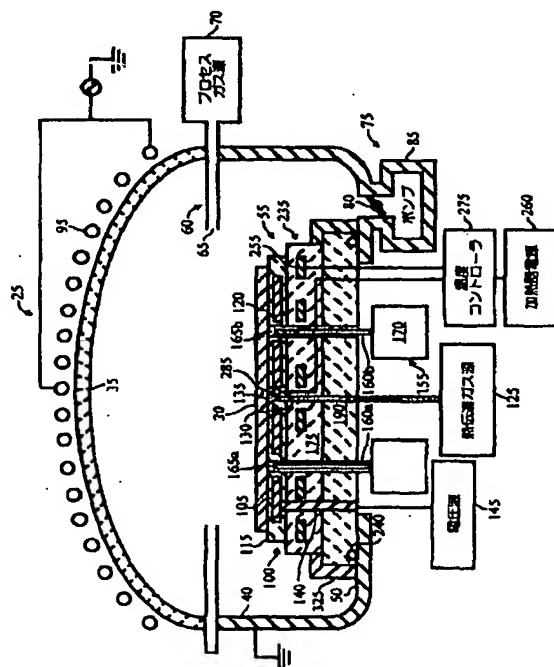
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電チャック及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基体をチャンバ内に保持するための静電チャックとその製造方法を提供することである。

【解決手段】 静電チャック55は、基体30を受入れるための表面120を有する誘電体115を含む静電部材100を備えている。誘電体は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極105をカバーしている。電極を帯電させるために、耐熱金属からなる電気コネクタ140を電極に接続することができる。ベース175は、セラミック及び金属のような複数の材料の複合体からなることができる。オプションとして、ベースを支持するために、空洞300を有する支持体190を設けることができる。静電部材、ベース、及び支持体の1つ以上を結合層によって接合させることができる。加熱器235を静電部材の下に、またはそれに接して位置決めすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基体を保持するための静電チャックであって、

上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

上記静電部材の下に位置し、複数の材料の複合体からなるベースと、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項2】 上記複合体は、セラミック及び金属からなることを特徴とする請求項1に記載の静電チャック。

【請求項3】 上記複合体は、以下の特色、即ち、

(i) 酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化硼素、炭素、コーディエライト、ムライト、炭化シリコン、窒化シリコン、二酸化シリコン、及び酸化ジルコニウムの1つまたはそれ以上を含むこと、

(ii) アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステン、またはそれらの合金を含むこと、

(iii) 炭化シリコン及びアルミニウムを含むこと、

(iv) 金属に対するセラミックの体積分率は、上記ベースが上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有するようにされていること、

(v) 金属に対するセラミックの体積分率は、上記ベース及び上記静電部材が各々約4から約10ppm/℃までの熱膨張係数を有するようにされていること、または

(vi) 金属を滲入させた多孔質セラミックを含むこと、の少なくとも1つを備えていることを特徴とする請求項1に記載の静電チャック。

【請求項4】 上記多孔質セラミックは、約20から約80容積%の細孔容積を有していることを特徴とする請求項3の(vi)に記載の静電チャック。

【請求項5】 上記ベースは、結合層によって上記静電部材に結合されていることを特徴とする請求項1に記載の静電チャック。

【請求項6】 上記結合層は、金属からなることを特徴とする請求項5に記載の静電チャック。

【請求項7】 基体を処理するためのチャンバであって、請求項1に記載の静電チャックを備えていることを特徴とするチャンバ。

【請求項8】 基体を保持するための静電チャックであって、

上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

結合層によって上記静電部材に結合されているベースと、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項9】 上記結合層は、金属からなることを特徴とする請求項8に記載の静電チャック。

【請求項10】 基体を保持するための静電チャックを製造する方法であって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電

極をカバーしている誘電体を含む静電部材を形成するステップと、

(b) 複数の材料の複合体からなるベースを形成し、上記ベースを上記静電部材に結合するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項11】 上記ステップ(b)は、金属を多孔質セラミック内に滲入させることによってベースを形成するステップからなることを特徴とする請求項10に記載の方法。

【請求項12】 基体を保持するための静電チャックであって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

(b) 上記静電部材に結合され、複数の材料の複合体からなるベースと、

(c) 上記ベースに結合されている支持体と、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項13】 更に、以下の特色、即ち、

(i) 上記ベースは、金属層によって上記静電部材に結合されていること、

(ii) 上記支持体は、金属層によって上記ベースに結合されていること、

(iii) 上記ベースは、上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有していること、または

(iv) 上記ベースは、金属を滲入させた多孔質セラミックからなること、の少なくとも1つを備えていることを特徴とする請求項12に記載の静電チャック。

【請求項14】 基体を保持するための静電チャックを製造する方法であって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材を形成するステップと、

(b) 複数の材料の複合体からなるベースを形成し、上記静電部材を上記ベースに結合するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項15】 支持体を形成し、上記支持体を上記ベースに結合するステップを更に含んでいることを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項16】 基体を保持するための静電チャックであって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

(b) 上記静電部材の下に位置し、熱絶縁材料からなり、上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有するベースと、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項17】 上記ベースは、約4から約10ppm/℃までの熱膨張係数を有していることを特徴とする請求項16に記載の静電チャック。

【請求項18】 上記ベースとチャンバの表面との間に

位置する支持体を更に備え、上記ベースの熱膨張係数は、上記静電部材の熱膨張係数と上記支持体の熱膨張係数との間にあることを特徴とする請求項16に記載の静電チェック。

【請求項19】 上記ベースは、コーディエライトまたはムライトからなることを特徴とする請求項16に記載の静電チェック。

【請求項20】 基体を保持するための静電チェックであって、

上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、上記静電部材の下に位置し、コーディエライトまたはムライトからなるベース

と、を備えていることを特徴とする静電チェック。

【請求項21】 基体を保持するための静電チェックであって、

上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

上記静電部材の下に位置するベースと、

上記ベースの下に位置し、熱伝達流体を循環させるためのチャンネルを有している支持体と、を備えていることを特徴とする静電チェック。

【請求項22】 上記ベースは、コーディエライトまたはムライトからなることを特徴とする請求項21に記載の静電チェック。

【請求項23】 基体を保持するための静電チェックを製造する方法であって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材を形成するステップと、

(b) 上記静電部材を支持するための表面を有するベースを形成するステップと、

(c) 熱伝達流体を保持するためのチャンネルを有する支持体を形成し、上記支持体を上記ベースに結合するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項24】 上記ステップ(c)は、アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステンの1つまたはそれ以上、またはそれらの合金からなる金属によって上記支持体を上記ベースに結合するステップを含んでいることを特徴とする請求項23に記載の方法。

【請求項25】 上記静電部材と上記支持体との間の温度差を少なくとも100℃に維持するのに十分に低い熱伝導率を有するベースを形成するステップを含んでいることを特徴とする請求項23に記載の方法。

【請求項26】 基体を保持するための静電チェックであって、

上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

上記静電部材の下に位置し、炭素繊維からなるベースと、を備えていることを特徴とする静電チェック。

【請求項27】 上記炭素繊維は、複数の方向に配向されているか、または上記ベースが1つの面内において実質的に等方性の熱膨張係数を呈するように配向されていることを特徴とする請求項26に記載の静電チェック。

【請求項28】 上記ベースは、以下の特色、即ち、

(i) 第1のセットの炭素繊維が第1の配向軸に平行に配向され、第2のセットの炭素繊維が第2の配向軸に平行に配向されていること、

(ii) 炭素繊維が複数の直交方向に配向されていること、

(iii) 炭素繊維の体積分率は、上記ベースが上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有するように選択されていること、または

(iv) 熱膨張係数が約4から約10ppm/℃までであること、の少なくとも1つを備えていることを特徴とする請求項26に記載の静電チェック。

【請求項29】 上記ベースは、上記炭素繊維を取り囲んでいる環状リングを更に含んでいることを特徴とする請求項26に記載の静電チェック。

【請求項30】 上記環状リングは、異なる熱膨張係数を有する第1及び第2の成分を含んでいることを特徴とする請求項29に記載の静電チェック。

【請求項31】 上記環状リングは、多孔質セラミック及び金属からなることを特徴とする請求項29に記載の静電チェック。

【請求項32】 上記セラミックは炭化シリコンからなり、上記金属はアルミニウムからなることを特徴とする請求項31に記載の静電チェック。

【請求項33】 静電チェックを製造する方法であって、

(a) 誘電体によってカバーされている電極を含む静電部材を形成するステップと、

(b) 炭素繊維からなるベースを形成するステップと、

(c) 上記ベースを上記静電部材に結合するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項34】 上記ステップ(b)は、

(i) 上記ベースが1つの面内において実質的に等方性の熱膨張係数を有するように炭素繊維を配向するステップと、

(ii) 第1のセットの炭素繊維を第1の配向軸に平行に配向し、第2のセットの炭素繊維を第2の配向軸に平行に配向するステップと、

(iii) 炭素繊維を複数の配向に配向するステップと、

(iv) 炭素繊維の体積分率を、上記ベースが上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有するように選択するステップと、

(v) 上記ベースが約4から約10ppm/℃までの熱膨張係数を呈するように炭素繊維の体積分率を選択するステップと、の少なくとも1つを含んでいることを特徴とする請求項33に記載の方法。

【請求項35】 上記ステップ(c)は、上記ベースを上記静電部材に対して保持し、金属を上記ベース内に導入させるステップを含んでいることを特徴とする請求項33に記載の方法。

【請求項36】 基体をチャンバ内に保持するための静電チャックであって、

(a) 上記基体を受入れるための表面を有し、上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

(b) 上記静電部材の下に位置し、上記基体を横切って所定の温度プロファイルを与えるためのガスを保持する空洞を含む支持体と、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項37】 上記支持体は、以下の特色、即ち、

(i) 空洞は、上記静電部材と上記チャンバとの間の温度差を少なくとも100℃に維持するようになっていること、

(ii) 空洞は、上記所定の温度プロファイルに関係付けられた形状に作られている断面プロファイルを有していること、

(iii) 上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有していること、

(iv) 酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化硼素、炭素、コーディエライト、ムライト、炭化シリコン、窒化シリコン、二酸化シリコン、及び酸化ジルコニウムの1つまたはそれ以上を含んでいること、

(ii) アルミニウム、銅、モリブデン、チタン、タングステン、ジルコニウム、またはそれらの混合体を含んでいること、

(v) 上記支持体は、ジルコニウムで作られていること、の少なくとも1つを備えていることを特徴とする請求項36に記載の静電チャック。

【請求項38】 上記静電部材と上記空洞との間に加熱器を更に含んでいることを特徴とする請求項36に記載の静電チャック。

【請求項39】 上記静電部材と上記支持体との間にベースを有し、上記ベースは複数の材料の複合体からなることを特徴とする請求項36に記載の静電チャック。

【請求項40】 基体をチャンバ内で処理する方法であって、

(a) 上記チャンバ内において静電部材上に上記基体を配置するステップと、

(b) 上記静電部材の下に位置する加熱器に給電することによって上記基体を加熱するステップと、

(c) 上記静電部材の下に位置する支持体内の空洞内にガスを供給するステップと、

(d) 上記チャンバ内にエネルギーを与えたプロセスガスを供給して上記基体を処理するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項41】 上記ステップ(c)は、上記静電部材

と上記チャンバの表面との間に少なくとも約100℃の温度差を与えるために空洞を形成する初期ステップを含んでいることを特徴とする請求項40に記載の方法。

【請求項42】 上記ガスの圧力は、

(i) 上記基体全体に実質的に均一な温度を維持するように調整され、

(ii) 50ミリトルより低いか、または

(iii) 約2から約50ミリトルまでである、ことを特徴とする請求項40に記載の方法。

【請求項43】 基体をチャンバ内に保持するための静電チャックであって、

上記基体を受入れることができる表面を有し、上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、

上記静電部材の下に位置し、上記基体の温度を少なくとも約100℃だけ上昇させるように十分に高い抵抗を有する抵抗加熱素子を含む加熱器と、

上記静電部材の下に位置し、上記静電部材と上記チャンバの表面との間に少なくとも約100℃の温度降下を生じさせるガスを保持するような形状及び寸法の空洞を含む支持体と、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項44】 上記空洞は、上記基体全体に所定の温度プロファイルを生じさせるような形状であることを特徴とする請求項43に記載の静電チャック。

【請求項45】 上記空洞は、ガス入口及びガス出口を有するチャネルからなることを特徴とする請求項43に記載の静電チャック。

【請求項46】 上記支持体は、アルミニウム、銅、モリブデン、チタン、タングステン、ジルコニウム、またはそれらの混合体からなることを特徴とする請求項43に記載の静電チャック。

【請求項47】 上記支持体は、ジルコニウムからなることを特徴とする請求項43に記載の静電チャック。

【請求項48】 基体を保持するための静電チャックであって、上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材と、上記静電部材の下に位置し、加熱器を含むベースと、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項49】 上記加熱器は、以下の特色、即ち、

(i) タングステン、モリブデン、鉄、ニッケル、銅、インコネル、またはそれらの合金からなる抵抗加熱素子を含んでいること、

(ii) 上記静電部材上に保持されている基体の温度を少なくとも約100℃だけ上昇させるために十分に高い抵抗を有していること、または

(iii) 上記加熱器は、実質的に平面であること、の少なくとも1つを含んでいることを特徴とする請求項48に記載の静電チャック。

【請求項50】 上記ベースは、複数の材料の複合体か

らなることを特徴とする請求項48に記載の静電チャック。

【請求項51】 上記複合体は、以下の特色、即ち、

(i) 熱膨張係数は、上記静電部材の熱膨張係数の約±30%以内であること、

(ii) セラミック及び金属であること、または

(iii) 金属を滲入させた多孔質セラミックであること、の少なくとも1つを含んでいることを特徴とする請求項50に記載の静電チャック。

【請求項52】 基体を保持するための静電チャックを製造する方法であって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を含む静電部材を形成するステップと、

(b) 加熱器を含み、上記静電部材に接合可能な表面を有するベースを形成するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項53】 上記ベースを、多孔質セラミック内に金属を滲入させることによって形成するステップを含んでいることを特徴とする請求項52に記載の方法。

【請求項54】 抵抗加熱素子からなる加熱器を選択し、上記加熱器を上記多孔質セラミック内に埋め込むステップを含んでいることを特徴とする請求項53に記載の方法。

【請求項55】 多孔質セラミック内に、アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステン、またはそれらの合金からなる金属を滲入させるステップを含んでいることを特徴とする請求項53に記載の方法。

【請求項56】 実質的に平坦である加熱器を形成するステップを含んでいることを特徴とする請求項52に記載の方法。

【請求項57】 基体を保持するための静電チャックであって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体と、

(b) 上記電極に接続されていて上記電極へ電荷を導くようになっており、少なくとも約1500℃の融解温度を有する耐熱金属からなる電気コネクタと、を備えていることを特徴とする静電チャック。

【請求項58】 上記電気コネクタは、以下の特色、即ち、

(i) タングステン、チタン、ニッケル、タンタル、モリブデンの1つまたはそれ以上、またはそれらの合金であること、

(ii) 上記電気コネクタが、約600℃より低い軟化温度を有する金属によって上記電極に結合されていること、または

(iii) 上記電極コネクタが、アルミニウム、インジウム、または低融点合金によって上記電極に結合されていること、の少なくとも1つを含んでいることを特徴とする

請求項57に記載の静電チャック。

【請求項59】 上記誘電体の下に位置する複数の材料の複合体からなるベースを更に備え、上記電気コネクタは上記ベース内の孔を通して伸びていることを特徴とする請求項57に記載の静電チャック。

【請求項60】 結合層が、上記ベースを上記誘電体に結合していることを特徴とする請求項59に記載の静電チャック。

【請求項61】 上記ベースは金属を滲入させた多孔質セラミックからなり、上記電気コネクタと上記電極との間の電気接触部分は同一の金属からなることを特徴とする請求項59に記載の静電チャック。

【請求項62】 基体を保持するための静電チャックを製造する方法であって、

(a) 上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーし、上記電極の一部を露出させる孔を有する誘電体を形成するステップと、

(b) 上記誘電体の上記孔内に電気コネクタを保持し、上記電気コネクタと上記電極との間に間隙を形成させるステップと、

(c) 上記電気コネクタと上記電極との間の間隙内に導電性液体を滲入させ、上記導電性液体を凝固させて上記電気コネクタを上記電極に電氣的に接続するステップと、を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項63】 上記導電性液体を滲入させるステップは、約100から約200psiまでの圧力を上記導電性液体に加えるステップを含んでいることを特徴とする請求項62に記載の方法。

【請求項64】 上記ステップ(a)は多孔質プリフォームからなる誘電体を形成するステップを含み、上記ステップ(c)は導電性液体を上記多孔質プリフォーム内へ滲入させるステップを含んでいることを特徴とする請求項62に記載の方法。

【請求項65】 上記電気コネクタを、タングステン、チタン、ニッケル、タンタル、モリブデン、またはそれらの合金で形成する初期ステップを含んでいることを特徴とする請求項62に記載の方法。

【請求項66】 上記ステップ(c)は、アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステン、またはそれらの合金からなる導電性液体を滲入させるステップを含んでいることを特徴とする請求項62に記載の方法。

【請求項67】 基体を保持するための静電チャックであって、

上記基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体と、

上記電極に電氣的に接続されている電気コネクタと、を備え、

上記電気コネクタは上記誘電体内の孔を通して伸びており、

上記孔は、上記電気コネクタの直径よりも小さい第1の直径と、上記電気コネクタの直径よりも大きい第2の直径とを有していることを特徴とする静電チャック。

【請求項68】 上記第1の直径は、上記電気コネクタに対してストップとして役立つように十分に小さく、それによって上記電極と上記電気コネクタとの間に間隙が形成されるようになっていることを特徴とする請求項67に記載の静電チャック。

【請求項69】 上記電気コネクタは、上記電極と上記電気コネクタとの間の間隙内の金属によって上記電極に電気的に接続されていることを特徴とする請求項67に記載の静電チャック。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基体をチャンバ内に保持するための静電チャックに関する。

【0002】

【従来の技術】基体を保持するために静電引力を使用する静電チャックは、機械的チャック及び真空チャックに比して幾つかの長所を有している。例えば、静電チャックは機械的な締付けによって生ずる応力誘起割れを減少させて基体のより大きい部分の処理を可能にし、また低圧で遂行される処理に使用することができる。典型的な静電チャックは、誘電体でカバーされた電極を備えている。電極を帯電させると逆極性の静電荷が基体内に累積し、得られる静電力が基体を静電チャック上に保持する。基体をチャック上にしっかりと保持した後に、ガスのプラズマを使用して基体を処理する。

【0003】集積回路を製造するために新たに開発された若干のプラズマ処理は、高温で、及び高度に浸食性のガス内で遂行されることが多い。例えば、アルミニウムのエッチングが100乃至200℃の温度で遂行されるのに対して、銅または白金のエッチング処理は250℃から600℃までの温度で遂行される。高い温度及び浸食性のガスは、チャックの製造に使用されている材料を熱的に劣化させる。高温要求は、酸化アルミニウム (Al_2O_3) または窒化アルミニウム AlN のようなセラミック材料によって満足される。しかしながら、セラミックチャックを、典型的には金属製のチャンバ成分に取付けることは困難である。それは、セラミックと金属の熱膨張係数の差によって熱的な、及び機械的な応力がもたらされ、セラミックが破壊したり、かけたりする可能性があるからである。チャックとチャンバとの間に過大な熱応力を生じさせることなく、セラミックチャックをチャンバへ固定するシステムを提供することが望ましい。

【0004】更に、新たに開発されたプロセスは、静電チャック上の基体を、プラズマの熱負荷によって供給されるよりも高い温度まで加熱することを必要とすることが多い。高温は加熱器によって得ることができる。例えば、基体をチャンバの外側に設けた熱ランプからの赤外

放射によって加熱することができる。しかしながら、赤外放射を、酸化アルミニウムまたはチャンバの金属壁を通過させることは困難である。米国特許第5,280,156号に開示されているように、別のアプローチでは、静電チャックのセラミック誘電体の中に電極及び加熱器が共に埋め込まれている。しかしながら、埋め込まれた加熱器を高電力レベルで動作させると、セラミック、電極、及び加熱器の間の熱膨張の差によって生成される熱応力から、電極をカバーしているセラミック誘電体が微小割れを生ずる恐れがある。従って、静電チャックを破損させずに高温まで加熱できる静電チャックに対する要望が存在している。

【0005】若干のプロセスにおいては、特に極めて小さい寸法を有し、互いに密接して位置決めされている相互接続ラインをエッチングする場合に、基体を狭い温度範囲内に維持するために基体を急速に冷却することも望まれる。しかしながら、基体を横切る高周波エネルギーとプラズマイオン密度との結合の変動によって、高電力プラズマ内に温度変動が発生する。これらの温度変動は、基体の温度に急速な増加または減少をもたらし得る。また、基体、チャック、及びチャンバの間の界面の熱インピーダンスが不均一なことから、基体とチャックとの間の熱伝達率に変化が発生し得る。従って、基体の温度をより精密に制御するために、基体を急速に冷却できる静電チャックを提供することが望ましい。

【0006】従来の静電チャックにおいて屢々発生する別の問題は、静電チャックの電極とチャンバ内の端子から電極へ電圧を導く電気コネクタとの間に、確実な電気的接続を形成させることの難しさである。従来の電気コネクタは、ばねバイアスされた接点を有しているが、これらの接点が酸化して電極への電気接続を貧弱にする恐れがある。更に、電気コネクタを電極に半田付けまたはろう付けによって形成された電気接続は、熱的または機械的応力で破損し得る弱い接合をもたらすことが多い。従って、電極と電気コネクタとの間に確実な、且つ信頼できる電気接続を有する静電チャックを提供することが望ましい。

【0007】更に別の問題が、特に高温プロセスの場合に、静電チャックとチャンバの表面との間の真空シールに発生することが多い。典型的には、流体、ガス、及び電気ラインが、チャンバの真空シールされたフィードスルーを通して静電チャックまで伸びている。従来のチャンバのフィードスルーは、それらの周縁の周りを伸べる溝内に位置決めされたポリマーリングによって真空シールされている。しかしながら、ポリマーリングは高温においてそれらのコンプライアンス及び弾性を失い、真空シールの完全性を維持することが難しいことが多い。

【0008】以上のように、熱的に、または機械的に過大に劣化することなく、高温で動作することができる静

電チャックに対する要望が存在している。プラズマの熱負荷によって供給されるよりも高い温度まで基体を加熱することができる静電チャックに対しても要望が存在している。また、熱を基体へ、及び基体から伝達するための均一で低い熱インピーダンスを有し、基体を急速に加熱または冷却することを可能にする静電チャックに対する要望も存在している。更に、電極と電気コネクタとの間に確実且つ信頼できる接続を有する静電チャックに対する要望が存在している。静電チャックとチャンバとの間の耐劣化真空シールに対する要望も存在している。

【0009】

【発明の概要】本発明は、これらの要望を満足させる基体を保持するための静電チャックに関する。静電チャックの1バージョンは、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体からなる静電部材を備えている。静電部材の下ベースは、複数の材料から、より好ましくは材料の複合体からなる。この静電チャックは、基体を、ガス分配器（ディストリビュータ）、ガスエナージェイザ、及び排気口を備えているチャンバ内に保持するために有用である。チャック上に保持された基体は、ガス分配器によって分配されたプロセスガスによって処理され、このプロセスガスはガスエナージェイザによってエネルギーを与えられ、そして排気口によって排気される。

【0010】静電チャックの別のバージョンは、静電部材、及び金属の層のような結合層によってこの静電部材に結合されているベースを備えている。静電チャックは、好ましくは、これも金属層によってベースに結合されている支持体を更に含んでいる。静電チャックは、静電部材を形成し、複数の材料からなるベースを形成し、ベースを静電部材に結合し、そしてオブションとして、支持体を形成し、支持体をベースに結合することによって製造される。結合層は、チャック上に保持されている基体をより均一に加熱及び冷却することを可能にするように、一貫した熱インピーダンスを提供する。

【0011】別のバージョンでは、静電チャックは、静電部材と静電部材の下ベースとを備え、ベースは熱絶縁材料からなり、またベースは静電部材の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有している。好ましくは、ベースは、例えばコーディエライトまたはムライトからなるセラミック部材からなっている。

【0012】別の面においては、本発明は、炭素繊維からなるベース上に静電部材を備えている。好ましくは、炭素繊維は、ベースがある面内で実質的に等方性である熱膨張係数を有するように、異なる方向に配向する。静電チャックは、静電部材を形成し、炭素繊維からなるベースを形成し、そしてベースを静電部材に結合することによって製造される。

【0013】1つの面において、本発明は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーする誘電体

を備えている静電チャックからなる。電気コネクタが電極に接続されていて、電荷を電極に導く。電気コネクタは、少なくとも約1500°Cの融解温度を有する耐熱金属からなる。

【0014】別のバージョンにおいて、本発明は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーする誘電体と、電極に電気的に接続されている電気コネクタとに関し、電気コネクタは誘電体内の孔を通して伸び、このあなは電気コネクタの直径よりも小さい第1の直径と、電気コネクタの直径よりも大きい第2の直径とからなる。

【0015】本発明の1バージョンにおいては、静電チャックは、基体を受入れるための表面を有する誘電体を含む静電部材を備え、この誘電体は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている。静電部材の下支持体は、基体を横切って所定の温度プロファイルを与えるように、ガスを保持する空洞を含む。

【0016】本発明の別のバージョンは、基体をチャンバ内に保持するための静電チャックからなり、この静電チャックは、基体を受入れるための表面を有する誘電体を含む静電部材を備え、この誘電体は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている。静電部材の下加熱器は、基体の温度を少なくとも約100°Cまで上昇させることができるように、十分に高い抵抗を有する抵抗加熱素子を備えている。これも静電部材の下支持体は、静電部材とチャンバの表面との間に少なくとも約100°Cの温度降下を生じさせるようにガスを保持する形状及び寸法の空洞を含んでいる。

【0017】本発明の1実施の形態においては、静電チャックは、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしている誘電体を備えている。静電部材の下ベースは加熱器を備えている。好ましくは、ベースは、複数の材料の複合体からなる。

【0018】本発明は、基体を保持するための静電チャックを製造する方法をも提供する。本方法は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーしているが、電極の一部分を露出させている孔を有する誘電体を形成するステップと、電気コネクタを静電チャックの孔の中に保持して電気コネクタと電極との間に間隙を形成させるステップと、導電性液体を電気コネクタと電極との間の間隙内に浸入させ、導電性液体を凝固させて電気コネクタを電極に電気的に接続するステップとを含んでいる。

【0019】別のバージョンにおいて、本方法は、基体を静電的に保持するように帯電可能な電極をカバーする誘電体を形成するステップと、内部に孔を有する多孔質プリフォームを形成するステップと、静電部材を多孔質プリフォームに対して保持して多孔質プリフォームの孔を通して電気コネクタを通過させ、電気コネクタと電極との間に間隙を形成させるステップと、液体を多孔質プ

リフォーム内、及び電気コネクタと電極との間の間隙内に浸入させ、液体を凝固させるステップとを含んでいる。

【0020】別の面において、本発明は、チャンバ内において基体を処理する方法を提供する。本方法は、基体をチャンバ内の静電部材上に配置するステップと、加熱器を含み、静電部材に接合できる表面を有するベースを形成するステップとを含んでいる。

【0021】別の面において、本発明は、チャンバ内において基体を処理する方法を提供する。本方法は、基体をチャンバ内の静電部材上に配置するステップと、静電部材の下に加熱器に給電することによって基体を加熱するステップと、静電部材の下に支持体内の空洞内にガスを供給するステップと、エネルギーを与えられたプロセスガスをチャンバ内に供給して基体を処理するステップとを含んでいる。

【0022】本発明のこれらの特徴及び利点は、特許請求の範囲、以下の説明、及び本発明の例を示している添付図面から明白になるであろう。

【0023】

【実施の形態】半導体ウェーハのような基体30を処理するためのチャンバ25の例が、図1に示されている。チャンバ25は、天井35、側壁40、下側表面50を含み、下側表面50上には処理中に基体30を確実に保持するために使用される静電チャック55が載っている。チャンバ25は更に、プロセスガスをプロセスガス源70からチャンバ25内へ導入するための1つ以上の孔65を有するプロセスガス分配器60を含んでいる。使用済みのガス及びガス状副生物をチャンバ25から排気し、チャンバ25内のガスの圧力を制御するために、排気システム75が使用される。排気システム75は、典型的には、絞り弁80を有する排気導管、及び粗引きポンプ及びターボ分子ポンプのような複数のポンプ85を含んでいる。プロセスガスには、チャンバ25内のプロセスガスに高周波エネルギーを結合することによってエネルギーを与えることも（図示していない）、またはチャンバ25に近接している遠隔チャンバ内のマイクロ波によってエネルギーを与えることも（図示していない）できる。図示したチャンバ25においては、プロセスガスは、天井35に近接しているインダクタコイル95に高周波電流を印加してチャンバ25内のガスに高周波エネルギーを誘導的に結合することによって、プロセスガスにエネルギーを与えてプラズマを形成させている。インダクタコイル95に印加される高周波エネルギーの周波数は、典型的には約50kHzから約60MHzまでであり、より典型的には約13.56MHzである。

【0024】静電チャック55は、誘電体115によってカバーされているか、または誘電体115内に埋め込まれている電極105を含んでいる。誘電体115は、基体30を受入れるための受入れ表面120を有してい

る。典型的にはヘリウムである熱伝達ガスが、熱伝達ガス源125から導管130を通して受入れ表面120内の溝135へ供給され、基体30と静電チャック55との間の熱伝達率を高める。誘電体115は、電極105からプラズマへ高周波エネルギーを結合できるようにする、また基体を静電的に保持するために直流電圧を電極105へ印加できるようにする絶縁体としても役立つ材料からなっている。静電部材100の電極105は、モノポーラ動作（図1に示すような）の場合には単一の導電体からなり、バイポーラ動作（図2に示す）の場合には2以上の電気的に絶縁された導体からなる。モノポーラチャック55の場合には、電極105に印加される電圧が静電荷を電極105または誘電体115内に累積させる。基体30の上のエネルギーを与えられたプロセスガスは逆極性を有する帯電した種を供給し、これらの種が基体30上に累積して基体30を静電チャック55の受入れ表面120に保持する静電引力を発生する。バイポーラチャック55においては、少なくとも2つの電極150a、bを異なる電位に維持することによって基体30内に静電荷を誘起させ、基体30を受入れ表面120に保持する。電気コネクタ140が電極105と電圧源145とを電気的に接続し、それによって所望の電圧を電極に供給して基体30を静電的に保持させる。オプションとして、電圧源145は電極105に高周波電圧をも供給し、プラズマに高周波エネルギーを容量的に結合することによってプラズマ種にエネルギーを与え、基体に向かって加速させる。

【0025】静電チャック55を動作させるために、チャンバ25は排気され、大気よりも低い圧力に維持される。リフトピンアセンブリ155は、空気圧リフトメカニズム170によって静電チャック55内の孔165a、bを通して持ち上げられるリフトピン160a、bを備えている。ロボットアーム（図示していない）が、基体30をリフトピン160a、b上に配置し、空気圧リフトメカニズム170が基体30を受入れ表面120上に降下させる。基体30を静電チャック55上に配置した後に、静電チャックの電極105は、電圧源145によって基体30に対して電気的にバイアスされ、基体30を静電的に保持する。電圧源145は、約1000乃至3000Vの直流電圧を電極105に供給する。基体30と静電チャック55との間の界面の受入れ表面120内の溝135に、導管130を通してヘリウムが供給され、基体30を静電チャック55に熱的に結合する。次いで、エネルギーを与えられたプロセスガスがチャンバ25内に供給され、チャック55上に保持されている基体30が処理される。処理が完了すると空気圧リフトメカニズム170がリフトピン160を上昇させて基体30を受入れ表面120から持ち上げ、基体30をロボットアーム（図示していない）によって取り除くことができるようにする。リフトピン160を上昇させる前に、基体30を

静電チャック５５に保持している残留電荷を散逸させることによって、基体３０を電氣的にデカップル、またはデチャックさせる。これは、電極１０５への電圧をターンオフさせた後に、電極１０５を接地させることによって、またはプラズマを別の電力レベルに維持し、基体３０内に累積した静電荷のための電氣的接地への通路を発生させることによって達成される。

【００２６】静電チャック５５、及びチャック５５をチャンバ２５内に支持し、保持するためのシステムを以下に説明する。図２に示すように、一般的に、静電チャック５５の静電部材１００は、静電部材１００と整合している形状及び寸法のベース１７５によって支持され、静電部材１００とベース１７５との間の界面にまたがって効率的な熱伝達を促進するようになっている。ベース１７５は、静電部材１００の受入れ表面１２０上に保持されている基体３０の温度を上昇または下降させるために、熱伝達流体を循環させるチャネル１８０を含むことができる。これにより、基体の温度が精密に制御されてより均一な処理が遂行できるようになる。ベース１７５を支持するために支持体１９０を設けることもでき、この支持体１９０はチャンバ２５の下側表面５０上に載っている。ベース１７５及び支持体１９０は静電チャック５５をチャンバ２５に確保し、熱膨張の不整合の程度を減少させ、それらの間にまたがってより均一な熱伝達率を発生させる。

【００２７】ベース

本発明の１つの面においては、静電部材１００を支持するためのベース１７５は、静電部材１００の熱膨張係数に十分に近い熱膨張係数を有するように製造される（そのようにしなければ、静電部材１００はベース１７５から分離してしまう）。このバージョンにおいては、ベース１７５は、熱膨張係数を合わせた複合材料からなる。複合ベース１７５は、例えば、２以上の材料（第１の材料及び第２の材料を含む）の混合体である複数の材料からなる。２つの材料の体積分率は、ベース１７５が、静電部材１００の熱膨張率の約±３０％以内にある熱膨張係数を有するように選択される。好ましくは、第１の材料をセラミック、第２の材料を金属として、ある延性と、増加した破壊靱性とを有する複合材料を得る。

【００２８】１つのバージョンにおいては、ベース１７５は、融解金属を滲入させた多孔質セラミックからなる。金属は、セラミック内の細孔が開いていて互いに相

互接続されている場合にはそれらの全てを充填し、また細孔が構造全体で相互接続されていない場合には多孔質セラミックの表面の若干の細孔だけを充填する。溶融金属を滲入させた多孔質セラミックからなるベース１７５の熱膨張係数は、セラミックと金属の体積分率を変化させることによって合わせることができる。図３は、次式に基づいて体積分率の増加に対するベースの熱膨張係数の変化を示している。

$$\alpha_b = (\alpha_m V_m E_m + \alpha_c V_c E_c) / (V_m E_m + V_c E_c)$$

ここに、 α_b は、ベース１７５の熱膨張係数（熱膨張係数）であり、 α_m 、 V_m 、及び E_m はそれぞれ、金属の熱膨張係数、体積分率、及びヤング率であり、 α_c 、 V_c 、及び E_c はそれぞれ、セラミック材料の熱膨張係数、体積分率、及びヤング率である。例えば、静電部材１００が、窒化アルミニウムからなる誘電体１１５を含んでいる場合には、ベース１７５は、ベース１７５と静電部材１００との間に適当なレベルの熱膨張係数整合を得るために、好ましくは約３から約１５ppm/°Cまで、より好ましくは約４から約１０ppm/°Cの熱膨張係数を有している。

【００２９】セラミック材料は、少なくとも約４００°C、より好ましくは少なくとも約６００°Cの温度に耐えることができる。適当なセラミック材料は、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化硼素、コーディエライト、ムライト、炭化シリコン、窒化シリコン、二酸化シリコン、及び酸化ジルコニウムの１つ以上を含む。多孔質セラミックに滲入させる適当な金属は、アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステン、またはそれらの合金を含む。多孔質セラミックは、好ましくは、金属を滲入させるための十分に大きい容積を与えるように、約２０から８０容積％までの細孔容積からなる。好ましい実施の形態では、ベース１７５はアルミニウム（Al）を滲入させた炭化シリコン（SiC）からなり、金属に対するセラミックの体積分量は約２０から約８０体積％である。金属に対するセラミックの体積分量が変わると、ベース１７５の熱的及び機械的特性も変化する。例えば、表Ⅰから、アルミニウムを滲入させた炭化シリコンからなるベース１７５の場合、金属に対するセラミックの体積分量が減少するとベース１７５の熱膨張係数及び引張強度は減少し、一方熱伝導率は一定に留まること

【００３０】表Ⅰ

金属に対するセラミックの 体積分量 (%)	63% SiC	65% SiC	70% SiC
熱膨張係数 (ppm/°C)	7.9-8.1	7.2-7.7	5.7-7.0
引張強度 (Gpa)	249	205	192
熱伝導率 (W/mk)	175	175	175

【００３１】別のバージョンでは、ベース１７５は、セラミック誘電体１１５の熱膨張係数と整合する熱膨張係

数が得られるように配向されている炭素繊維200を更に含んでいる。例えば図4bに示すように、ベース175は、第1の配向軸205aに平行に配向されている第1のセットの炭素繊維200aと、第1の配向軸205aに対して角 θ をなしている第2の配向軸205bに平行に配向されている第2のセットの炭素繊維200bとからなることができる。静電部材100に加わる熱膨張応力を最小にするために、好ましくは、炭素繊維の配向及び体積分量は、ベース175が基体30の処理表面と同一面内において実質的に等方性の熱膨張係数を有するように選択する。より好ましくは、ベース175は、複数の直交方向に配向されている炭素繊維200からなる。特定の方向に配向されている炭素繊維200は、それらの軸205aまたは205bに平行な方向に膨張する。従って、炭素繊維200を単一の面内で直交する方向に配向させると、同一面内の2以上の異なる軸方向におけるそれらの熱膨張が実質的に等化され、その面内でより均一な熱膨張係数が得られる。更に、単一の面内でより一層等方性の熱膨張を得るために、ベース175は、その面内で複数の方向に（例えば、20、45、または60° 間隔に）配向された炭素繊維200からなることができる。

【0032】ベース175の熱膨張係数は、各々が異なる熱膨張係数を有する複数の成分部材、またはそれらのハイブリッドからなるベース175を形成することによって、静電部材100の熱膨張係数に整合するように更に合わせることができる。ベース175の総合熱膨張係数は、個々の成分部材の膨張係数と、それらの線形寸法、

$$\alpha_b = (\alpha_1 D_1 + \alpha_2 (D_2 - D_1)) / D_b$$
とに依存する。ここに、 α_b は、ハイブリッド複合ベースの総合熱膨張係数であり、 α_1 及び α_2 は、個々の成分部材の熱膨張係数であり、そして D_1 及び D_2 は、個々の成分部材の線形寸法である。好ましくは、成分部材の線形寸法の比は、ベース175の熱膨張係数が静電部材100の熱膨張係数の約30%以内にあるように選択する。ベース175の成分は、多機能特性を達成するために共働するような形状及び寸法である。例えば、図4a及び4bに示すように、ベース175は、上に位置する静電チャック55の中心220及び周縁225において異なる熱膨張係数を与えるように、互いに円形に対称である2つの成分210、215からなることができる。このバージョンでは、ベース175は、環状リング215によって取り囲まれているディスク210からなり、それぞれ異なる平均熱膨張係数を有している。ディスク210及び環状リング215は共に、前述したように金属を滲入させた多孔質セラミックで作られている。しかしながら、金属に対するセラミックの体積分量は各々の中で異なり、一方またはそれ以上は異なる体積分量で炭素繊維200を含むことができる。図4bに示すベ-

ース175は、基体30の面に平行な面内においてより均一な膨張係数を得るために、少なくとも2つの直交方向に配向されている炭素繊維200を含む複合材料からなるディスク210を有している。ディスク210は、金属を滲入させた多孔質炭化シリコン製の環状リング215によって取り囲まれている。

【0033】更に別のバージョンでは、図5に示すように、ベース175は、静電チャック55をチャンバ25（図示してない）の表面50または支持体190から熱的に絶縁しているセラミック部材のような熱絶縁材料からなる。この実施の形態においては、支持体190は、熱伝達流体を循環させるためのチャネル230を更に含んでいる。ベース175は、静電チャック55とチャンバ25の表面50との間、または静電チャック55と支持体190との間に位置する中間部材として役立っている。これは、チャンバ25の表面50を通しての熱伝導を介して熱が静電チャック55から逃げるのを減少させ、基体30をより高温に維持する。更にベース175は、普通のポリマーリング240を使用することによって、静電チャック55がその下の支持体190、またはチャンバ25の表面50との間に耐ガスシールを形成できるようにしている。リング240は、典型的には、ポリエチレン、ポリウレタン、ポリカーボネート、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、フルオロエチレンポリマーのようなポリマー、またはシリコンで作られており、これらは全て高温によって破損しやすい。例えば温度が200°Cを越えると、ポリイミドリングは、その弾性、及びそのシールを形成する能力を失う。ベース175の熱伝導率は低いので、ベース175は十分に高い温度差を発生し、リング240を劣化させることなく、リング240によって静電チャック55を支持体190に対して真空シールすることが可能になる。好ましくは、ベース175は、静電チャック55の受入れ表面120とチャンバ25の下側表面50、または支持体190との間に、少なくとも約100°Cの温度差を発生するのに十分に低い熱伝導率からなっている。より好ましくは、ベース175は、約6W/mkよりも低い熱伝導率を有する。

【0034】図5に示す実施の形態では、ベース175は、例えば、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化硼素、炭素、コーディエライト、ムライト、炭化シリコン、窒化シリコン、二酸化シリコン、及び酸化ジルコニウムのような、セラミック材料で作られる。ムライト及びコーディエライトは、約6W/mkよりも低い熱伝導率と、静電チャック55の誘電体115の熱膨張係数に極めて近い約5ppm/°Cの熱膨張係数とを有しているので好ましい。ムライト及びコーディエライトは共に、熱ショックに対して高い耐性を有している。熱ショックは、急速な加熱及び冷却によってもたらされる熱応力によって発生し、材料内に微小割れを生じさせ、それ

らが構造障害に発達する恐れがある。従って、支持体190によって交互に加熱及び冷却されるベース175にとっては、熱ショックによる障害に対する高い耐性を有していることが望ましい。熱ショックに対する高い耐性を有していることに加えて、ムライト及びコーディエライトは、エネルギーを与えられたプロセスガスによる浸食にも高い耐性を有していることから、フッ素のような反応性プロセスガスを使用するプロセスに有用である。

【0035】結合（ボンド）層

本発明の別の面においては、図6に示すように、ベース175は、高い熱伝導率を有する材料で作られた結合層250によって静電部材100に結合、または接合されている。結合層250は、例えば、結合層250にまたがってより均一な熱伝達率が得られるアルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステンような金属、またはそれらの合金からなることができるが、これはより均一な処理のためには望ましいことである。結合層250は、静電部材100をベース175に固定するのにボルトの使用を排除し、従って静電チャック55に加わる機械的応力を減少させる。また、結合層250は、基体30にまたがってより均一な熱伝達率を与える均一な組成を有しており、ベース175と静電部材100との間の界面に発生する熱インピーダンスの差を減少させる。熱インピーダンスの差は、例えば、ベース175と、間隙及び非接触領域を有する粗い表面（滑らかな表面に対して高い熱インピーダンスを呈する）を有している静電部材100との間の界面に発生し得る。結合層250は、特に、セラミック誘電体115を含む静電チャック55の場合に望ましい。それは、静電部材100とベース175との間の界面を形成しているセラミック誘電体115の下側表面252が微視的な間隙及び割れ目（図示してない）を含むことが多いからである。従来の静電チャックでは、これらの間隙及び割れ目は静電部材100とベース175との間に熱バリアーを作る可能性がある。それに対して、結合層250は間隙及び割れ目を充填し、滑らかな表面を発生して制御可能で均一な熱伝達率を与える。

【0036】好ましくは、結合層250は延性（ダクタイル）であり、従順（コンプライアント）であって、静電チャックを破損させることなく、熱膨張の不整合によって発生する熱応力を吸収する界面を提供する。結合された継ぎ目は均一な熱伝達率を与えるが、結合された継ぎ目が静電部材100及びベース175のような異なる材料の熱膨張係数の差によって発生する熱応力に耐えるのは困難であることが多い。延性で従順な材料で作られている本発明による結合層250はたわむことができ、静電部材100とベース175との熱膨張係数の差によって発生する熱応力を吸収することができる。結合層250は、従順で、熱応力を吸収することができるポリマーで作ることもできる。しかしながら、普通のポリマー

材料は、浸食性のプラズマ及びプロセスガスによって浸食されることが多く、従って従順な金属を使用して結合層250を形成することが好ましい。また、金属製の結合層は、一般的に、ポリマー製の結合層よりも高い熱伝導率を有している。

【0037】好ましくは、結合層250は、誘電体115とベース175との間の界面内に融解金属を滲入させることによって作る。例えば、誘電体115及びベース175の多孔質セラミック内に融解金属を滲入させて形成させた結合層250によって、多孔質セラミック及び金属の複合体からなるベース175を静電部材100の誘電体115に結合することができる。滲入プロセス中に融解金属はセラミック材料と反応し、結合層250となる界面反応層を形成する。この反応層は、接触表面付近のゾーン内に閉じ込められ、各多孔質セラミック表面内への突入は約250 μ mより少なく、約50から約500 μ mの厚みを有する結合層250が得られるものと考えられる。静電部材100をベース175に接合する方法によって、強く、真空中に耐える結合層250が得られる。この結合層250は、ボイドが実質的に皆無であり、ベース175と静電部材100との間の界面にまたがって均一な熱伝達率を呈する。更に、多孔質セラミック内へ融解金属を滲入させることにより比較的薄い結合層250が得られ、静電部材100のたわみは最小になる（そうでない場合には、受入れ表面120が反り、静電チャック55を使用不能にしてしまう）。

【0038】別のバージョンでは、ベース175及び静電部材100は、ろう付けによって互いに接合される。ろう付けするとは、セラミック部材と別のセラミック部材または金属部材とを、これらの部材の何れよりも低い融点を有する合金を使用して結合することをいう。1つの方法では、ろう付け用金属の薄いシート（図示してない）を静電部材100とベース175との間に配置する。アセンブルされた静電部材100及びベース175を加熱し、金属を静電部材100及びベース175の表面と反応させて強い延性の結合層250を形成させる。代替では、ろう付け用金属を結合すべき表面上に直接堆積させ、アセンブルされた静電部材100及びベース175を加熱して結合層250を形成させる。ろう付け用金属は、アルミニウム、亜鉛、銅、シリコン、またはそれらの合金からなることができる。アセンブルされた静電部材100及びベース175を、ろう付け用金属が融解するには十分に高いが、静電部材100及びベース175を軟化せしめない温度まで加熱する。一般的に言えば、静電部材100及びベース175を約180秒間にわたって約600 $^{\circ}$ Cまで加熱し、ろう付けされた結合層250を形成させる。

【0039】加熱器

本発明の別の面では、静電チャック55は、基体30を加熱するために、静電部材100の誘電体115の下に

位置決めされ、それに接している加熱器235を含んでいる。誘電体115は加熱器235からの熱を拡散させ、それによって基体30全体により均一な温度を加える。また、誘電体115のセラミック材料が高温に耐える能力を有しているため、ポリマー誘電体を有する静電チャック55を用いて達成できるよりも高い温度で加熱器235を動作させることができる。好ましい加熱器235は、基体30の温度を少なくとも約100℃まで上昇させるのに十分に高い抵抗を有する抵抗加熱素子255からなる。抵抗加熱素子255は、タングステン、モリブデン、鉄、ニッケル、銅、インコネル、またはそれらの合金で作ることができる。好ましくは、抵抗加熱素子255は、基体30の裏側全体にまたがって比較的均一な熱流束が得られるように、基体30の寸法と整合する寸法の平面形状からなる。抵抗加熱素子255は、らせんまたは渦に巻かれたフラットコイル、金網、またはジグザグ状素子のような形状であることができる。加熱器電源260が抵抗加熱素子255に電気的に接続され、加熱器235に給電する。抵抗加熱素子255は耐熱金属からなり、加熱器コネクタ270a、b（比較的低い融解温度を有する金属を滲入させることによって抵抗加熱素子255に結合される）によって加熱器電源260に電気的に接続される。加熱器電源260は、約500から約3500Wの電力を有し、所望の基体温度を達成する電流レベルを発生するように調整可能な源からなる。好ましくは、基体温度を監視し、加熱器235の出力を調整して基体30を約25から約500℃に維持するための温度コントローラ275を設ける。

【0040】好ましくは、加熱器235は、静電部材100の誘電体115内ではなく、ベース175内に埋め込む。加熱器がセラミック誘電体内に埋め込まれている従来のチャックは、加熱器235を取り囲むセラミック材料の局所的な膨張によって生成される高い熱応力によって割れることが多い。これに対して、加熱器235をセラミック誘電体115の下に、即ちベース175の内側に配置すると、ベース175が加熱され、ベース175が伝導によって誘電体115を均一に加熱するので、誘電体115内に過大な熱応力は生じない。また埋め込まれた加熱器235は、ベース175及び誘電体115の熱質量がヒートシンクとして役立ち、局所的な温度変動が基体30の温度を過大に変化させるのを防ぐので、放射加熱によって得られるよりも正確且つ安定に基体30の温度を狭い範囲内に維持することができる。

【0041】基体30は、加熱器235の抵抗加熱素子255に加熱器電源260から給電することによって加熱される。加熱器電源260から供給される電流の電力レベルは、測定された基体30の温度に関連して温度コントローラ275によって調整され、基体30を処理するのに適する温度まで基体30の温度を上昇させる。ベース175は、静電チャック55から、支持体190ま

たはチャンバ25の表面50への熱の流れを減少させることができる。オプションとして、支持体190内のチャネル230を通して熱伝達流体を循環させることによって、熱はベース175の下で支持体190から除去される。処理中の基体30の温度は、基体30を所望の狭い温度範囲内に維持するように加熱器235を制御する温度コントローラ275に信号を送る（受入れ表面120内に埋め込まれた）熱電対のような温度センサ285（図1）を使用して監視される。好ましくは、本発明の静電チャック55は、基体30を、約±10℃の範囲内、より好ましくは約±5℃の範囲内で、約25から約500℃の温度に維持できる。

【0042】支持体

支持体190は、静電チャック55をチャンバ25に確保するために役立ち、またはチャック55、ベース175、及びチャンバ25の間の熱膨張応力を減少させるような1つ以上の他の機能を遂行し、基体30の所望温度に依存して熱絶縁体または熱導体として役立ち、そしてまた基体30とチャンバ25との間の熱伝達率も制御する。

【0043】支持体190の1つのバージョンは、チャック55、ベース175、及びチャンバ25の表面50の間の熱膨張応力を減少させるようになっている。このバージョンでは、支持体190は、ベース175の熱膨張係数の約±30%以内の熱膨張係数を有する材料で作られる。詳述すれば、支持体190は、約2から約27ppm/℃の、最も好ましくは、約3から約12ppm/℃の熱膨張係数を有している。支持体190は、セラミック、金属、またはセラミックと金属の複合体または混合体からなり、これらは例えば、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化硼素、炭素、コーディエライト、ムライト、炭化シリコン、窒化シリコン、二酸化シリコン、酸化ジルコニウム、アルミニウム、銅、モリブデン、チタン、タングステン、ジルコニウム、及びそれらの混合体の1つ以上を含む。例えば、ベース175の熱膨張係数と整合させるのに適当な支持体190は、ジルコニウム（約6ppm/℃の熱膨張係数を有している）を含むアルミニウム及び炭化シリコン（AlSiC）（約4から約10ppm/℃の熱膨張係数を有している）の複合体からなる。

【0044】別のバージョンでは、支持体190は、支持体190とベース175の熱膨張の差から発生する熱応力を更に吸収するために設けられた従順で、延性の材料の第2の結合層295によって、静電チャック55のベース175に結合されている。この結合層295も、一般に約50から約500μmの厚みを有している。結合層295は、アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステン、またはそれらの合金のような金属から作られる。更に、結合層295は、より均一な組成を有する界面と、基体30への、及び基体30からのより

均一な熱伝達率とを与える。結合層295は、ベース175と静電部材100との間の界面に発生する熱インピーダンスの差をも減少させる。

【0045】図7a乃至7cを参照する。別のバージョンでは、支持体190は、静電チャック55のベース175をチャンバ25の表面50から熱的に絶縁するようになっている。このバージョンでは、支持体190は、静電チャック55をチャンバ25の表面50から絶縁する熱的バリヤーとして役立つような形状及び寸法の空洞300を含んでいる。空洞300は、リング240のような普通の低温真空シールによって、静電チャック55を表面50に対してシールできるよう十分な温度差を与える形状及び寸法である。前述したように、温度が高いとポリマーリング240はその弾性を、従ってシールを形成する能力を失う。好ましくは、空洞300を有する支持体190は、静電チャック55からの熱伝達率を制御するために約6W/mkより小さい熱伝達率を有する。より好ましくは、支持体190は、基体30が約500℃の温度に保持されている時に、チャック55とチャンバ25の表面50との間に少なくとも約100℃の温度差を与えるような形状及び寸法の断面積を有する空洞300を含む。

【0046】図7aを参照する。空洞300は、支持体190の寸法よりも極く僅かに小さい、そしてそれに対応する寸法を有する断面からなる。代替として、空洞300は、静電チャック55の受入れ表面120全体により均一な温度が得られるように、ベース175の異なる部分から熱を除去するレートを制御するように合わせたより複雑な形状からなることができる。例えば、図7bに示すように、空洞300は、静電チャック55の周縁がエネルギーを与えられたプロセスガスからより高い熱負荷を加えられる場合、その周縁からの熱除去を増加させるように台形の断面からなることもできる。別の代替では、図7cに示すように、空洞300は、ベース175の中心からより多くの熱を除去できる矩形断面を有する環状チャネルからなり、それによって静電チャック55の中心のより大きい熱流束を補償することができる。

【0047】図7cを参照する。空洞300は、空洞300にヘリウム、アルゴン、窒素、または空気のようなガスを供給し、排除するためのガス入口310a及びガス出口310bを更に含むことができる。空洞300内のガスの圧力を変化させることによって、基体30から支持体190を通して伝導する熱の量も変化させることができる。空洞300内のガスの圧力は、チャック55の受入れ表面120全体の温度を実質的に均一に維持するように調整される。典型的には、ガスの圧力は約50ミリトルより低く、より好ましくは、ガスの圧力は約2から約50ミリトルである。

【0048】オプションとして、図6に示すように、支持体190は、支持体190（それに静電チャック55

が結合されている）をチャンバ25に確保するためにボルト320がねじ込まれるコパール（商標）またはアンバ（商標）のような低熱膨張合金のねじ付き挿入物315を含むことができる。ねじ付き挿入物315は、セラミック支持体190のもろい材料よりも大きい弾性及びコンプライアンスを呈し、ボルト320を受入れるためのねじの加工がより容易である。代替では、支持体190は、図1に示すように締付けリング325によってチャンバ25内に固定される。締付けリング325は、支持体190及びチャンバ25の表面50の熱膨張の差に起因する運動を許容し、それによって支持体190のたわみまたは割れを防ぎ、支持体190と表面50との間の真空シールの信頼性を改善する。また、普通の金属製取付け用ボルトによって誘起されるどのような機械的応力も減少され、それによって静電チャック55及び支持体190の動作寿命が延びる。更に別の実施の形態では、図7a乃至7cに示すように、締付けリング325、ベース175、または支持体190の1つ以上が湾曲した表面330を含んでおり、締付け力を大きい面積にわたって分配することにより、静電チャック55及び支持体190に加わる機械的応力が更に減少する。

【0049】製造方法

別の面において、本発明は、誘電体115によってカバーされている電極105と、静電部材100に接合されているベース175と、オプションとして加熱器235とを含む静電チャック55の製造方法に関する。以下に、静電チャック55の好ましい製造方法を説明するが、静電チャック55を形成するためには他の製造方法を使用することができ、本発明を以下に説明する例示的な方法に制限すべきではない。

【0050】静電部材の形成

静電部材100の誘電体115は、セラミックまたはポリマー材料からなる。適当な高温材料は、例えば、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、窒化シリコン、二酸化シリコン、二酸化チタン、酸化ジルコニウムの1つまたはそれ以上、またはそれらの混合体のようなセラミックを含む。一般的に言えば、窒化アルミニウムは、その熱伝達率が高く、基体30から静電チャック55まで高い熱伝達率を与えるので好ましい。また窒化アルミニウムは、約5.1ppm/℃の熱膨張係数を有するモリブデン製の電極105の熱膨張係数に精密に整合する約5.5ppm/℃の低い熱膨張係数を有している。また窒化アルミニウムは、浸食性環境、特にハロゲンを含むプラズマ環境において良好な耐薬品性を呈する。誘電体115は、フリーズ（freeze）キャストリング、射出成形、圧力成形、熱スプレイイング、または内部に電極105を埋め込んだセラミックブロックの焼結によって形成される。好ましくは、セラミック粉末を、圧力成形プロセスにおいて高い圧力及び温度を印加することによって凝集性の質量に形成する。適当な圧力成形装置は、オート

クレープ、プラテンプレス、または例えば本明細書に参照として採り入れている1997年11月6日付米国特許出願第08/965,690号に開示されているアイソスタティック (isostatic) プレスを含む。

【0051】静電部材100の電極105は、少なくとも約1500℃の温度のような高温に耐えることができる耐熱金属からなる。適当な金属は、例えば、タングステン、モリブデン、チタン、ニッケル、タンタル、またはそれらの合金を含む。好ましくは、電極105はモリブデンで作る。モリブデンは、電極105に広く使用されている殆どの金属及び合金の熱伝導率よりも実質的に高い約138W/mkの熱伝導率を有しており、静電部材100を通る熱伝達率を高める。図6に示す実施の形態では、電極105は、誘電体115内に埋め込まれた薄いメッシュからなり、基体30の形状及び寸法に依存する形状及び寸法である。

【0052】埋め込まれた電極105を有する静電部材100を形成する好ましい方法においては、アイソスタティックプレスを使用して静電部材 (図示していない) の全表面に均一な圧力を加える。典型的なアイソスタティックプレスは、アイソスタティック成形バッグに圧力を加えるための加圧流体を用いる耐圧鋼チャンバからなる。ポリビニルアルコールのような有機結合材と混合された適当なセラミック配合物からなる粉末化された前駆物質を、アイソスタティック成形バッグ内の電極105の周囲に詰込み、バッグをアイソスタティックプレス内に挿入する。圧力チャンバ内の流体を加圧してセラミック材料に圧力を加える。同時に、真空ポンプを使用してアイソスタティック成形バッグ内に捕えられている空気を除去し、粉末化前駆物質の凝集性を増加させることが望ましい。内部に電極105を有する誘電体115からなる単一のセラミックプリフォームをアイソスタティック成形バッグから取り外して焼結し、埋め込まれた電極105を有する静電部材100を形成する。爾後に、錐もみ、中ぐり、またはフライス加工することによってガス流導管130を静電部材100内に形成させることも、または成型プロセス中にセラミックプリフォーム内に適当な挿入物を配置しておくことによってそれらを形成することもできる。基体30を静電チャックに効率的に熱結合させるために、静電部材100を形成した後に受入れ表面120を研削して平坦な表面にする。

【0053】電気コネクタ140が静電チャック55の電極105に接続され、チャンバ25内の電圧源端子340から電極105へ電荷を導く。電気コネクタ140も、少なくとも約1500℃の融解温度を有する耐熱金属で作られている。適当な材料は例えば、タングステン、チタン、ニッケル、タンタル、モリブデン、またはそれらの合金を含む。電気コネクタ140は、電圧源端子340から誘電体115及び支持体190内の孔350を通して電極105と電氣的に係合するのに十分に長く伸び

る長さを有するロッドまたはプラグ345からなる。電気コネクタ140の他の等価構造は、矩形リード、接点ポスト、及びラミネートされた導電構造を含む。

【0054】図6に示す好ましい構造においては、電気コネクタ140のプラグ345は、液相の導電性材料によって電極105に結合されている。導電性液相は、好ましくは約1500℃よりも低い、より好ましくは約600℃よりも低い軟化温度を有する金属からなる。適当な材料は、アルミニウム、銅、鉄、モリブデン、チタン、タングステン、またはそれらの合金を含む。電気コネクタ140は、導電性液相がプラグ345と電極105との間に滲入してこれらを電氣的に接続可能にするために、十分に大きい間隙355が得られるように孔350内に整列されている。間隙355を充填するこのより延性の導電性材料は、電気コネクタ140がそれを取り囲んでいる静電部材100のような他の構造に対して垂直に膨張することによって発生する熱応力も吸収する。金属が滲入する間隙355の容積は、電気コネクタ140と電極105との間の空間に金属が実質的に充填され、良好な電気接続を得ることができるように十分に大きくする。しかしながら、金属が滲入する間隙355の容積を小さくすると、電気コネクタ140を取り囲んでいるセラミック材料の割れを大幅に減少させるのに役立つこと、及び静電部材100のたわみをも減少させることができることを発見した。図6に示す実施の形態においては、間隙355は、誘電体115内の孔365によって限定され、この孔365は、電気コネクタ140のプラグ345の外径より小さい第1の直径と、プラグ345が通過できるようにプラグ345の直径より大きい第2の直径とを有している。孔365の第1及び第2の直径によって限定される肩70は、電気コネクタ140が電極105と接触するのを防ぐストップとして役立ち、それによって、プラグ345を電極105に電氣的に接続する融解または軟化金属 (後に凝固する) が滲入できる間隙355をそれらの間に形成する。以上のように、電気コネクタ140は電極105に直接的には接合されず、代わりに、容易に変形可能であって熱膨張及び他の機械的応力を吸収できる金属で充填された間隙355を介して電氣的に結合されるのである。この接合は、電気コネクタ140と電極105との間に、より信頼できる電気接続を提供する。

【0055】代替として、電気コネクタ140は、ろう付けされた接続によって電極105に電氣的に接続することができる。図8a及び8bを参照する。金属挿入物375を、プラグ345と孔365の肩370との間に配置する。次いで、静電チャック55及びプラグ345を加熱し、金属挿入物375を軟化させて間隙355を充填させる。典型的には、静電チャック55及びプラグ345を、少なくとも約180秒にわたって約600℃の温度に維持する。次いで、それらを冷却して金属を間隙35

5内で凝固させ、図8bに示すように電気コネクタ140と電極105との間にろう付けされた接続を形成させる。オプションとして、静電チャック55を加熱している間に電気コネクタ140のプラグ345に圧力を加え、金属挿入物375から軟化した金属を間隙355に滲入させ、充填させることができる。

【0056】オプションとして、図6に示すように、酸化アルミニウムのようなセラミック材料の管380が、誘電体115、支持体190、及びベース175の1つまたはそれ以上を通して伸びている。これらの管380は、電気コネクタ140及び加熱器コネクタ270a、bを、結合層250、295、ベース175、及び支持体190から電氣的に絶縁するのに役立っている。これらの管380は導管130及びリフトピン160が通る孔165a、bとも整列しており、静電チャック55の動作中にそれらの中にプラズマグロー放電が形成されるのを防ぐ。管380は、接着剤を使用しなくても実質的に定位置に保持できるような外径を有している。好ましくは、電気コネクタ140及び加熱器コネクタ270a、bを取り囲んでいる管380は、コネクタ140、270a、bに順応する内側寸法及び形状からなる。より好ましくは、導管を取り囲んでいる管380は、導管130内に、及びリフトピン孔165a、b内にプラズマが形成されるのを防ぐように、十分に小さい内径を有している。

【0057】ベースの形成

静電部材100を支持するための、金属を滲入させた多孔質セラミックからなるベース175のバージョンは、セラミックプリフォーム（図示してない）を形成し、液体または融解金属をセラミック内に滲入させて作る。セラミックプリフォームは、セラミックプリフォーム内に所望の多孔度容積を得るような平均粒子サイズを有するセラミック粉末で作られる。セラミック粉末の平均粒子サイズは、球入りミリングまたは摩擦ミリングのようなミリングプロセスによって得ることができる。合計多孔度は、いろいろなサイズの粒子からなる塊にした粉末を使用して更に増加または減少させることができる。所望の細孔サイズは滲入されるセラミックに依存して変化するが、一般的には、約20から約80容積%の容積多孔度を得るために、セラミック粉末が約0.1から約50 μ mの平均粒子サイズを有することが望ましい。

【0058】静電部材100を支持するための、埋め込まれた加熱器235を含んでいるベース175のバージョンは、抵抗加熱素子255をモールド（図示してない）内に配置し、セラミック粉末をモールドに詰め込み、モールドに約48MPaから約69MPaまでの圧力を加えてプリフォームを形成して作る。セラミック粉末に加える圧力は、オートクレーブ、プラテンプレス、またはアイソスタティックプレスを使用して加えることができる。好ましくは、アイソスタティックプレスを使用し

てモールドの全表面に均一な圧力を加え、高強度を有するセラミックプリフォームを形成させる。アイソスタティックプレス中、ポリビニルアルコールのような添加物、ポリエチレングリコールのような可塑性材、及びステアリン酸アルミニウムのような潤滑材をセラミック粉末と混合し、プリフォームの機械的強度を改善する。プリフォームが十分な強度を有しているので、電極105及び抵抗加熱素子255へのコネクタ140、270a、b、のためのボイド、熱伝達ガスのための導管130、及びリフトピン160のための孔165a、bは、セラミックプリフォームが未焼結状態にある間に錐もみ、中ぐり、フライス加工のような普通の加工技術を使用して形成することができる。

【0059】未焼結プリフォームを焼結し、オプションの抵抗加熱素子255が埋め込まれているセラミックプリフォームを作る。焼結プロセス中に、焼結されたボディの合計多孔度及び平均細孔サイズを制御するために、未焼結プリフォームは高い分圧のガスが存在する中で加熱される。好ましくは、ガスの分圧は約1から約10気圧である。もしプリフォーム形成プロセスに結合材または他の有機材料を使用していれば、これらの添加物は焼結ステップ中に燃え尽きる。焼結プロセスにおいては、未焼結プリフォームが炉内に配置され、窒素のようなガスを流しながら約300から約1200℃の温度までゆっくりと加熱し、稠密なセラミックを形成させる。

【0060】ベース175を形成する第2のステップは、滲入プロセスを含む。所望の多孔度及び細孔サイズを有するセラミックを得た後に、金属の液相または融解金属をセラミックのボイドまたは細孔内に滲入させる。滲入は、例えば、融解金属をセラミックと接触せしめ、毛管作用によってセラミックの相互接続細孔内に滲入させる方法を含むどのような適当なプロセスによって達成することもできる。好ましい方法においては、滲入は、圧力容器内で圧力滲入プロセスを使用して遂行する。この方法では、周囲に金属を配置したセラミックを圧力容器内に配置し、容器を排気し、加熱してセラミックの細孔から空気を除去する。圧力容器を排気した後に、セラミック及びそれを取り囲んでいる金属を、滲入させるべき金属の軟化温度に対応する温度まで加熱する。融解金属を圧力の下に圧力容器内へ導入して、セラミック内の実質的に全てのボイド、空洞、及び細孔を充填させる。例えば、セラミックが約30%の多孔度を有する炭化シリコンからなる実施の形態においては、融解アルミニウムの滲入は、圧力容器を約1030kPa (150psi) に維持し、約180秒にわたって温度を少なくとも600℃に維持することによって達成する。

【0061】結合層の形成

次いで、上述した滲入プロセスによってベース175を静電部材100のセラミック誘電体115に結合する。好ましい実施の形態においては、静電部材100を圧力

容器内でベース175のトップに配置し、融解金属または合金をこのアセンブリと接触させる。典型的には、処理容器を約690kPa (100psi) から約1380kPa (200psi) までの圧力に維持し、融解金属を少なくとも約180秒にわたって約600から約700℃までの温度に維持する。滲入プロセス中に融解金属はセラミック誘電体115と反応し、静電部材100とベース175との間に金属間結合層250を形成する。滲入の後、アセンブルされた静電チャック55は冷却され、金属は凝固して結合層250が形成される。静電部材100とベース175との間の実質的にボイドの無い、且つ割れの無い結合は、静電チャックアセンブリを冷却する速度を制御することによって達成される。好ましくは、静電チャックアセンブリは、約10から約100℃/時間の速度で冷却する。

【0062】代替方法においては、ベース175は単一のステップで形成されて静電部材100に結合される。この方法においては、電極105を有する静電部材100を圧力容器内でベース175の焼結されたプリフォーム上に配置する。圧力容器を完全に排気した後に、融解金属を圧力の下に容器内へ導入し、プリフォーム内の表面ボイド、空洞、及び細孔を実質的に充填してベース175を形成させると共に、ベース175と静電部材100との界面内にも滲入させてそれらを結合させる。

【0063】別の実施の形態においては、支持体190も滲入プロセスによってベース175の下側表面に結合される。前述したように、支持体190は、ベース175の形状に対応する形状のセラミックまたは金属構造からなることができる。支持体190は、例えば、鑄造、アイソスタティックプレス、または金属または焼結したセラミック材料のブロックの加工を含むさまざまな方法によって形成することができる。空洞300は、錐もみ、中ぐり、またはフライスカこうによってベース175内に形成される。例えば、図7cに示す好ましい実施の形態においては、支持体190は鑄造したジルコニウムの2つの片から形成される。トップ部材190aは、内部に環状チャネルを有する空洞300と、空洞300をカバーする下側板190bとを有する直円柱からなる。オプションとして、下側板190bも、空洞300へ熱伝達ガスを供給するためのガス入口310a、及び空洞300から熱伝達ガスを排気するためのガス出口310bを設けるように加工することができる。空洞300を形成した後に、アセンブルされた支持体190の上側及び下側表面を、支持体190の表面粗さが約1ミクロンより小さくなるまで研削する。表面研削は、支持体190をベース175に均一に接触させ、支持体190とベース175との間に強い、実質的にボイドの無い結合層295を作るために必要である。滑らかな下側表面は、

支持体190とチャンバ25の下側表面50との間の真空シールを高めるために有用である。研削後、支持体190は徹底的にきれいにされ、研削破片が除去される。支持体190が金属からなるような実施の形態の場合には、支持体190の露出表面は、エネルギーを与えられたプロセスガスによる浸食または腐食を減少させるために処理するか、またはある材料で被膜することができる。例えば、支持体190の露出表面は、陽極酸化処理するか、または熱的にスプレーされたアルミナで被膜することができる。

【0064】以下の例は、静電チャック55、ベース175、及び支持体190を形成するために、または結合層250によって静電部材100をベース175に結合するために使用することができるいろいろな材料の組合せの熱膨張両立性を示している。試験クーボンは、静電チャック55の寸法を近似するためにスケールダウンされており、本発明の滲入プロセスによって結合された異なる材料で作られている。炭化シリコン及びムライト材料は、アルミニウムのような従順な金属を滲入させた高多孔度の材料であった。滲入プロセス中に、約1030kPa (150psi) の圧力に加圧され、約600℃の温度に加熱された容器内で、融解アルミニウムを滲入させた。

【0065】例1乃至9においては、結合された試験クーボンの表面の平面度をプロファイルメータを使用して測定し、互いに結合された2つの異なる材料の熱膨張の不整合に起因して発生する中心から周縁までの表面の湾曲を表すたわみの程度及び方向が決定された。表面の中心が周縁に対して高い場合を正のたわみと言い、周縁が高い時が負のたわみである。静電チャック55の受入れ表面120の場合、その表面に保持している基体の破損を防ぐために、及び基体30が静電チャック55に、またはエネルギーを与えられたプロセスガスの源に接近している場合に発生する熱伝達率の何等かの不均一性を減少させるために、平坦にすることが望ましい。例えば、約200mmの直径を有する表面120は、約254μm (10ミル) より小さいたわみを呈するべきである。過大なたわみは、誘電体115、ベース175、支持体190、またはそれらの間の結合層250、295の割れの原因となり、静電チャック55の動作寿命を短縮させ、またはチャンバ25を汚染させ得る。

【0066】以下の表IIを参照する。100×180mmの寸法で、10乃至12mmの厚みを有する結合された試験クーボンを、室温と、300℃またはそれ以上の温度との間で繰り返シサイクルさせた。爾後の試験及び検査は、本発明の金属・セラミック複合体が異なる材料を確実に結合する能力及び結合を有しており、たわみ及び微小割れは受入れ可能なレベルにあることを示している。

【0067】表 II

例 No.	結合された材料	熱膨張係数不 整合	結合の品質
1	AlSiC と AlN	6.9 と 5.5	優秀／約 10 ミルより少ない正 のたわみ
2	AlSiC と Al ₂ O ₃	6.9 と 7.1	優秀／約 6 ミルより少ない正 のたわみ
3	AlSiC と ムライト	6.9 と 7.9	優秀／たわみ無し ムライト割れ
4	AlSiC と Ti 合金	6.9 と 9.5	優秀／正のたわみ
5	AlSiC と AlSiC	6.9 と 6.9	優秀／たわみ無し
6	AlSiC と 金属 (Mo, Ta, W, コパール 及びアンノリ)	6.9 と 6.0	優秀／たわみ無し
7	Al-SiSiC と AlN	5.8 と 5.5	優秀／約 2 ミルより少ない正 のたわみ
8	AlC と AlN	4.8 と 5.5	優秀／約 3 ミルより少ない負 のたわみ
9	AlC と AlC	4.8 と 4.8	優秀／たわみ無し

【0068】以上説明したように、本発明は、基体30を狭い範囲内の高温に維持することができ、基体30を保持し、支持するためのシステムを提供する。基体30は、プラズマ及びオプションとしての加熱器235によって供給される熱に依存して加熱または冷却される。更に、静電チャック55、ベース175、及び支持体190は、熱ショックまたは熱膨張応力による破断または微小割れを生ずることなく、基体30を急速に加熱または冷却することができる。また、本発明は、電気コネクタと静電チャック55の電極との間に信頼できる電氣的接続を与える。

【0069】以上に、本発明をその若干の好ましいバージョンに関してかなり詳細に説明したが、他のバージョンも可能である。例えば、当業者には明白のように、そして本発明の範囲から逸脱することなく、静電チャックは、フラットパネルディスプレイ、回路基板、及び液晶ディスプレイのような他の基体を保持するために使用することができる。また、本発明の静電チャックは、物理的蒸着及び化学的蒸着チャンバのような他の環境内においても使用することができる。従って、特許請求の範囲は、本明細書に記載の好ましいバージョンに限定されるものではないことを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【図1】チャンバの概略側断面図であって、本発明による静電チャックを示している。

【図2】熱伝達流体を循環させるためのチャネルを含むベースを有する静電チャックの概略側断面図である。

【図3】ベース内の体積分率を増加させた時のベースの熱膨張係数の変化を示すグラフである。

【図4a】2つの成分、即ち中心ディスクと環状リングを含むベースを備えている静電チャックの概略側断面図である。

【図4b】図4aの概略上面図であって、少なくとも2つの直交する方向に配向されている炭素繊維を有する中心ディスクを示している。

【図5】静電部材、ベース、及び熱伝達流体を循環させるためのチャネルを有する支持体の概略側断面図である。

【図6】静電チャックの別のバージョンの概略側断面図である。

【図7a】静電部材、ベース、及びベースをチャンバの表面から熱的に絶縁する空洞を含む支持体の概略側断面図である。

【図7b】台形の断面を有する空洞を含む支持体の別の実施の形態の概略側断面図である。

【図7c】矩形断面を有するチャネル、ガスをチャネルへ供給するためのガス入口、及びガスをチャネルから除去するためのガス出口を含む支持体の更に別の実施の形態を示す概略側断面図である。

【図8a】静電チャックの一部分の概要側断面図であって、電極、電気コネクタ、及びそれらの間の導電性材料のディスクを示している。

【図8b】導電性材料のディスクを融解させ、冷却した後に、図8aの静電チャックの電極と電気コネクタとが

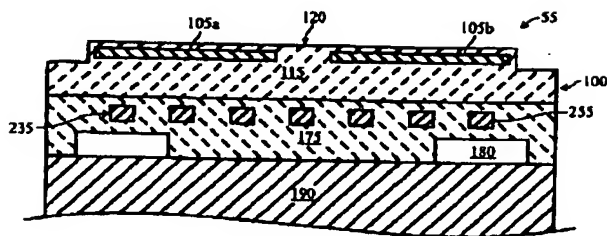
電氣的に接続されていることを示す図である。

【符号の説明】

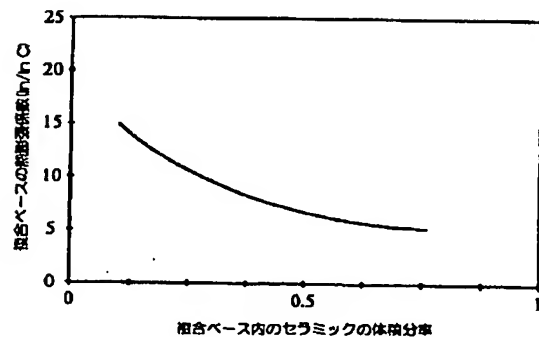
25 チャンバ
30 基体
35 天井
40 側壁
50 下側表面
55 静電チャック
60 プロセスガス分配器
65 孔
70 プロセスガス源
75 排気システム
80 絞り弁
85 ポンプ
95 インダクタコイル
100 静電部材
105 電極
115 誘電体
120 受入れ表面
125 熱伝達ガス源
130 導管
135 溝
140 電気コネクタ
145 電圧源
155 リフトピンアセンブリ
160 リフトピン
165 孔
170 リフトメカニズム
175 ベース
180 チャンネル
190 支持体

200 炭素繊維
205 配向軸
210 ディスク
215 環状リング
220 チャックの中心
225 チャックの周縁
230 チャンネル
235 加熱器
240 Oリング
250 結合層
252 下側表面
255 抵抗加熱素子
260 加熱器電源
270 加熱器コネクタ
275 温度コントローラ
285 温度センサ
295 第2の結合層
300 空洞
310a ガス入口
310b ガス出口
315 ねじ付き挿入物
320 ボルト
325 締付けリング
330 湾曲した表面
340 電圧源端子
345 電気コネクタのプラグ
350 孔
355 間隙
370 肩
375 金属挿入物
380 セラミック管

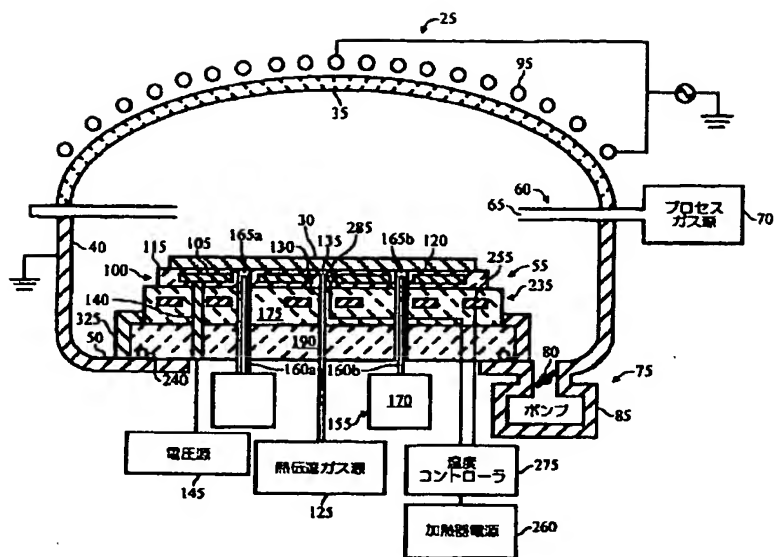
【図2】



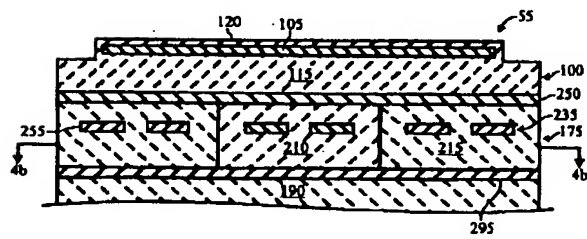
【図3】



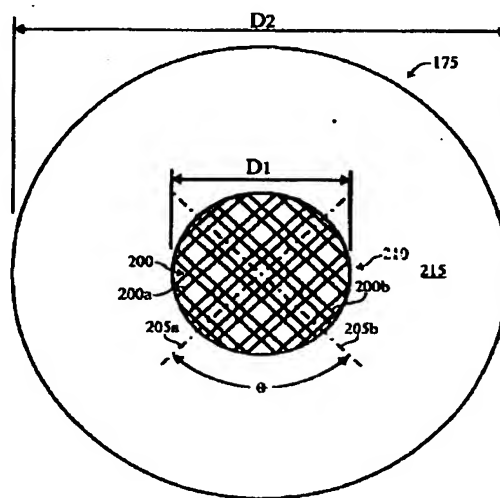
【図1】



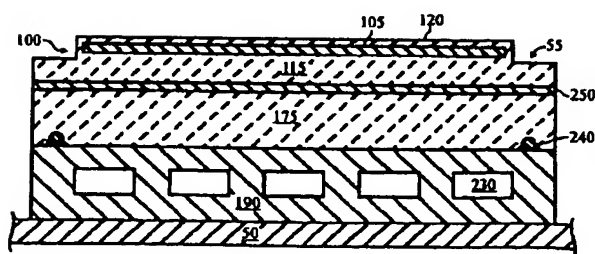
【図4a】



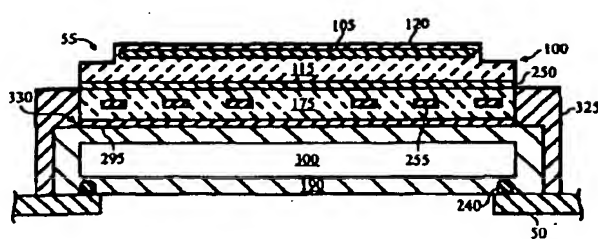
【図4b】



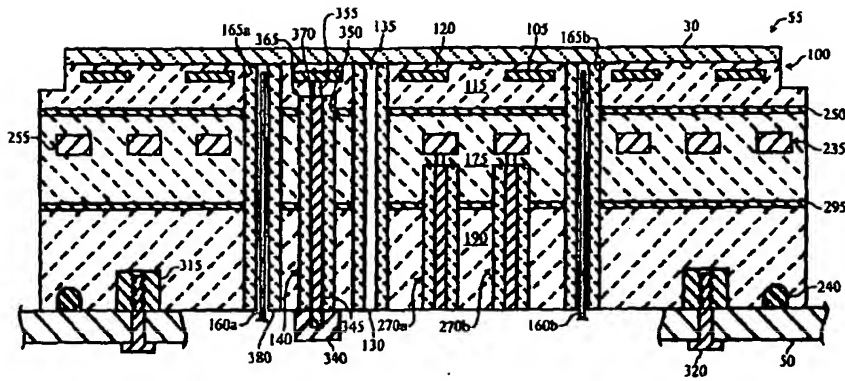
【図5】



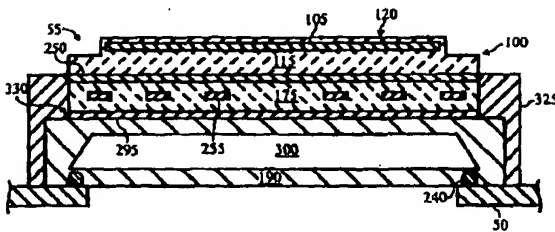
【図7a】



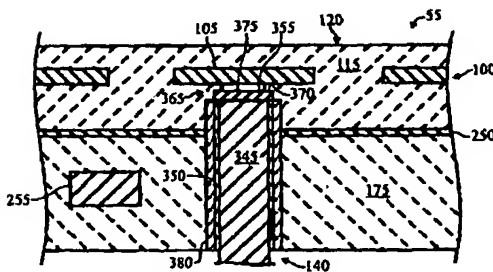
【図6】



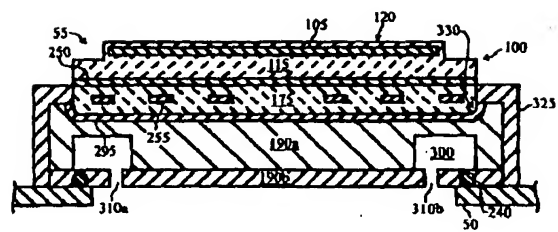
【図7b】



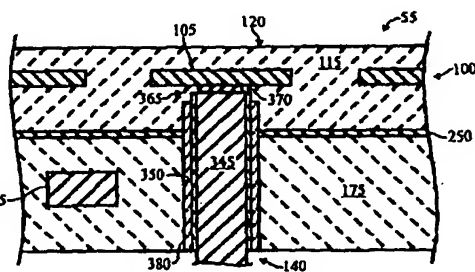
【図8a】



【図7c】



【図8b】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 09/307215
(32)優先日 平成11年5月7日(1999. 5. 7)
(33)優先権主張国 米国(US)
(72)発明者 シャモイル シャモイリアン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95120 サン ホセ リトル フォールズ
ドライブ 6536

(72)発明者 アーナンダ エイチ クマー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95035ルピタス ノールヴィュー ドライ
ヴ 1296
(72)発明者 アーノルド コーロデンコ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94132 サン フランシスコ ユーカリプ
タス ドライブ 1747

(72)発明者 ユー ワン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95014 クーパーティノ ノース フット
ヒル ブールヴァード 10330-エイ25
(72)発明者 アレクサンダー エム ヴィーツァー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94040 マウンテン ヴィュー ロイド
ウェイ 1429
(72)発明者 スリンダー エス ベディー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94539 フリーモント ハンター プレイ
ス 44296

(72)発明者 カドターラ アール ナレンドルナータ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95148 サン ホセ スロープヴィュー
ドライブ 3686
(72)発明者 セミオン エル カッツ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94132 サン フランシスコ ゴンザレス
ドライブ 810
(72)発明者 デニス エス グリマード
アメリカ合衆国 ミシガン州 48103 ア
ン アーバー リバティー ポイント
511
(72)発明者 ウィン エル チェン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94087 サニーヴェイル ラシーン ドラ
イヴ 1665

【 外 国 語 明 細 書 】

ELECTROSTATIC CHUCK AND METHOD

BACKGROUND

The present invention relates to an electrostatic chuck for holding a substrate in a chamber.

Electrostatic chucks, which use electrostatic attraction forces to hold a substrate, have several advantages over mechanical and vacuum chucks. For example, electrostatic chucks reduce stress-induced cracks caused by mechanical clamps, allow processing of a larger portion of the substrate, and can be used in processes conducted at low pressures. A typical electrostatic chuck comprises an electrode covered by a dielectric. When the electrode is electrically charged, an opposing electrostatic charge accumulates in the substrate and the resultant electrostatic force holds the substrate onto the electrostatic chuck. Once the substrate is firmly held on the chuck, a plasma of gas is used to process the substrate.

Certain newly developed plasma processes for the fabrication of integrated circuits are often performed at high temperatures and in highly erosive gases. For example, processes for etching copper or platinum are conducted at temperatures of from 250 to 600°C, compared to temperatures of 100 to 200°C for etching aluminum. The high temperatures and erosive gases thermally degrade the materials used to fabricate the chucks. The high temperature requirement is met by ceramic materials, such as aluminum oxide (Al_2O_3) or aluminum nitride (AlN). However, it is difficult to attach the ceramic chuck to chamber components which are typically made from metal because the difference in thermal expansion coefficients of the ceramic and metal can result in thermal and mechanical stresses that can cause the ceramic to fracture or chip. It is desirable to have a system for fastening a ceramic chuck to a chamber without causing excessive thermal stresses between the chuck and the chamber.

In addition, the newly developed processes often require the substrate on the electrostatic chuck to be heated to temperatures higher than those provided by

the heat load of the plasma. The high temperatures can be obtained by using a heater, for example, the substrate can be heated by infrared radiation from heat lamps provided outside the chamber. However, it is difficult to pass infrared radiation through the aluminum oxide or metal walls of the chamber. In another approach, as described in U.S. Patent No. 5,280,156, the electrostatic chuck comprises a ceramic dielectric having both the electrode and the heater embedded therein. However, operating the embedded heater at high power levels can cause the ceramic dielectric covering the electrode to microcrack from the thermal stresses generated by differences in thermal expansion between the ceramic, electrode, and heater. Thus, there is a need for an electrostatic chuck that can be heated to high temperatures without damaging the chuck.

In certain processes, it is also desirable to rapidly cool the substrate in order to maintain the substrate in a narrow range of temperatures, especially for etching interconnect lines that have very small dimensions and are positioned close together. However, temperature fluctuations occur in high power plasmas due to variations in the coupling of RF energy and plasma ion densities across the substrate. These temperature fluctuations can cause rapid increases or decreases in the temperature of the substrate. Also, variations in heat transfer rates between the substrate and chuck can arise from the non-uniform thermal impedances of the interfaces between the substrate, chuck, and chamber. Thus, it is desirable to have an electrostatic chuck that can rapidly cool the substrate to more closely control the temperature of the substrate.

Another problem that frequently arises with conventional electrostatic chucks is the difficulty in forming a secure electrical connection between the electrode of the electrostatic chuck and an electrical connector that conducts a voltage to the electrode from a terminal in the chamber. Conventional electrical connectors have spring biased contacts which can oxidize and form poor electrical connections to the electrode. Moreover, electrical connections formed by soldering or brazing the electrical connector to the electrode often result in weak joints that can break from thermal or mechanical stresses. Thus, it is desirable to have an electrostatic chuck with a secure and reliable electrical connection between the electrode and electrical connector.

Yet another problem frequently arises from the vacuum seal between the electrostatic chuck and the surface of the chamber, especially for high temperature processes. Typically, fluid, gas, and electrical lines extend to the electrostatic chuck through vacuum sealed feedthroughs in the chamber. In conventional chambers, the feedthroughs are vacuum sealed by polymer O-rings that are positioned in grooves extending around their circumference. However, the polymer O-rings often lose their compliance and resilience at high temperatures making it difficult to maintain the integrity of the vacuum seal.

Accordingly, there is a need for an electrostatic chuck that can be operated at high temperatures without excessive thermal or mechanical degradation. There is also a need for an electrostatic chuck that can heat the substrate to higher temperatures than those provided by the heat load of the plasma. There is also a need for an electrostatic chuck having a uniform and low thermal impedance to transfer heat to and from the substrate to allow rapidly heating or cooling of the substrate. There is a further need for an electrostatic chuck having a secure and reliable connection between its electrode and electrical connector. There is also a need for degradation resistant vacuum seal between the electrostatic chuck and chamber.

SUMMARY

The present invention relates to an electrostatic chuck for holding a substrate that satisfies these needs. One version of the electrostatic chuck comprises an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate. A base below the electrostatic member comprises a plurality of materials, and more preferably a composite of the materials. The electrostatic chuck is useful for holding a substrate in a chamber comprising a gas distributor, a gas energizer, and an exhaust. A substrate held on the chuck is processed by process gas distributed by the gas distributor, the process gas being energized by the gas energizer, and exhausted by the exhaust.

Another version of the electrostatic chuck comprises an electrostatic member and a base bonded to the electrostatic member by a bond layer, such as a

layer of metal. The electrostatic chuck can also include a support bonded to the base, preferably, also by a metal layer. The electrostatic chuck is fabricated by forming the electrostatic member, forming a base comprising a plurality of materials, bonding the base to the electrostatic member, and optionally, forming a support and bonding the support to the base. The bond layer provides a consistent thermal impedance that allows more uniform heating and cooling of the substrate held on the chuck.

In another version, the electrostatic chuck comprises an electrostatic member and a base below the electrostatic member, the base comprising a thermally insulating material and the base having a coefficient of thermal expansion within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member. Preferably, the base comprises a ceramic member comprising, for example, cordierite or mullite.

In another aspect, the present invention comprises an electrostatic chuck comprising an electrostatic member on a base comprising carbon fibers. Preferably, the carbon fibers are oriented in different directions such that the base has a coefficient of thermal expansion which is substantially isotropic in a plane. The electrostatic chuck is fabricated by forming the electrostatic member, forming a base comprising carbon fibers, and bonding the base to the electrostatic member.

In one aspect, the present invention comprises an electrostatic chuck comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate. An electrical connector is connected to the electrode to conduct an electrical charge to the electrode. The electrical connector comprises a refractory metal having a melting temperature of at least about 1500°C .

In another version, the present invention is to an electrostatic chuck comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate, and an electrical connector electrically connected to the electrode, the electrical connector extending through a bore in the dielectric, and the bore comprising a first diameter smaller than a diameter of the electrical connector and a second diameter larger than the diameter of the electrical connector.

In one version of the present invention, the electrostatic chuck comprises an electrostatic member comprising a dielectric having a surface adapted to receive the substrate, the dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate. A support below the electrostatic member comprises a cavity adapted to hold a gas to provide a predetermined temperature profile across the substrate.

Another version of the present invention comprises an electrostatic chuck for holding a substrate in a chamber, the electrostatic chuck comprising an electrostatic member comprising dielectric having a surface adapted to receive the substrate, the dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate. A heater below the electrostatic member, comprises a resistive heating element having a resistance sufficiently high to be able to raise the temperature of the substrate by at least about 100°C. A support also below the electrostatic member, comprises a cavity that is shaped and sized to hold a gas to provide a temperature drop of at least about 100°C between the electrostatic member and a surface of the chamber.

In one embodiment of the present invention, the electrostatic chuck comprises an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate. A base below the electrostatic member comprises a heater. Preferably, the base comprises a composite of a plurality of materials.

The present invention further teaches a method for fabricating an electrostatic chuck for holding a substrate. The method comprises the steps of forming a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate, the dielectric having a hole exposing a portion of the electrode; holding an electrical connector in the hole of the electrostatic chuck to form a gap between the electrical connector and the electrode; and infiltrating a conducting liquid into the gap between the electrical connector and the electrode and solidifying the conducting liquid to electrically connect the electrical connector to the electrode.

In another version, the method comprises the steps of forming an electrostatic member comprising dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; forming a porous preform having a hole therein; holding the electrostatic member against the porous preform and passing an electrical connector through the hole of the porous preform to form a gap between the electrical connector and the electrode; and infiltrating a liquid into the porous preform and into the gap between the electrical connector and the electrode and solidifying the liquid.

In another aspect, the present invention comprises a method of processing a substrate in a chamber, the method comprising steps of placing the substrate on an electrostatic member in the chamber; forming a base comprising a heater, the base having a surface that can be joined to the electrostatic member.

In another aspect, the present invention comprises a method of processing a substrate in a chamber, the method comprising steps of placing the substrate on an electrostatic member in the chamber; heating the substrate by powering the heater below the electrostatic member; providing a gas in a cavity in a support below the electrostatic member; and providing an energized process gas in the chamber to process the substrate.

DRAWINGS

These features, aspects, and advantages of the present invention will become better understood with regard to the following description, appended claims, and accompanying drawings which illustrate examples of the invention, where:

Figure 1 is a schematic sectional side view of a chamber showing an electrostatic chuck according to the present invention;

Figure 2 is a schematic sectional side view of an electrostatic chuck having a base comprising channels for circulating heat transfer fluid;

Figure 3 is a graph showing the change in the coefficient of thermal expansion of a base for increasing volume fraction of ceramic in the base;

Figure 4a is a schematic sectional side view of an electrostatic chuck comprising a base comprising two components, namely a central disk and an annular ring;

Figure 4b is a schematic top plan view of the base of Figure 4a showing the central disk having carbon fibers oriented in at least two orthogonal directions;

Figure 5 is a schematic sectional side view of an electrostatic member, a base, and a support having channels for circulating heat transfer fluid;

Figure 6 is a schematic sectional side view of another version of an electrostatic chuck;

Figure 7a is a schematic sectional side view of an electrostatic member, a base, and a support comprising a cavity that thermally isolates the base from a surface of a chamber;

Figure 7b is a schematic sectional side view of another embodiment of the support comprising a cavity having a trapezoidal cross-section;

Figure 7c is a schematic sectional side view of yet another embodiment of the support comprising a channel having a rectangular cross-section, a gas inlet for supplying gas to the channel, and a gas outlet for removing gas from the channel;

Figure 8a is a schematic sectional side view of a portion of an electrostatic chuck showing an electrode, electrical connector, and a disc of conducting material therebetween; and

Figure 8b shows the electrostatic chuck of Figure 8a after the disc of conducting material being melted and cooled to electrically connect the electrode to the electrical connector.

DESCRIPTION

An exemplary chamber 25 for processing a substrate 30, such as a semiconductor wafer, is illustrated in Figure 1. The chamber 25 comprises a ceiling 35, sidewalls 40, and a lower surface 50 on which rests an electrostatic chuck 55 that is used to securely hold the substrate 30 during processing. The chamber 25 further comprises a process gas distributor 60 having one or more holes 65 for introducing process gas from a process gas supply 70 into the chamber 25. An exhaust system 75 is used to exhaust spent gas and gaseous byproducts from the chamber 25 and to control the pressure of gas in the chamber 25. The exhaust system 75 typically comprises an exhaust conduit having a throttle valve 80, and a plurality of pumps 85 such as roughing pumps and turbomolecular pumps. The process gas is energized by coupling RF energy to the process gas in the chamber 25 (as shown) or the process gas can be energized by microwaves in a remote chamber adjacent to the chamber 25 (not shown). In the exemplary chamber 25, the process gas is energized to form a plasma by applying an RF current to an inductor coil 95 adjacent to the ceiling 35 to inductively couple RF energy to the gas in the chamber 25. The frequency of the RF energy applied to the inductor coil 95 is typically from about 50 KHz to about 60 MHz, and more typically about 13.56 MHz.

The electrostatic chuck 55 includes an electrostatic member 100 comprising an electrode 105 covered by or embedded in a dielectric 115, and having a receiving surface 120 for receiving the substrate 30. A heat transfer gas, typically helium, is supplied from a heat transfer gas supply 125 and through a conduit 130 to grooves 135 in the receiving surface 120 to enhance heat transfer rates between the substrate 30 and the electrostatic chuck 55. The dielectric 115 comprises a material that allows RF energy to be coupled from the electrode 105 to the plasma, and that also serves as an insulator that allows a DC voltage applied to the electrode 105 to electrostatically hold the substrate 30. The electrode 105 of the electrostatic member 100 comprises a single electrical conductor for monopolar operation (as shown in Figure 1) or two more electrically isolated conductors for bipolar operation (as shown in Figure 2). In a monopolar chuck 55, a voltage applied to the electrode 105 causes electrostatic charges to accumulate in the electrode 105 or in the dielectric 115. Energized process gas above the substrate 30 provides electrically charged species

having opposing polarity which accumulate in the substrate 30 resulting in an attractive electrostatic forces that holds the substrate 30 to the receiving surface 120 of the electrostatic chuck 55. In a bipolar chuck 55, at least two electrodes 105a,b are maintained at different electric potentials, thereby inducing electrostatic charges in the substrate 30 that hold it to the receiving surface 120. An electrical connector 140 electrically connects the electrode 105 to a voltage supply 145 to provide desired voltage to the electrode 105 to electrostatically hold the substrate 30. Optionally, the voltage supply 145 also provides an RF voltage to the electrode 105 to energize and accelerate the plasma species toward the substrate 30 by capacitively coupling of RF energy to the plasma.

To operate the electrostatic chuck 55, the chamber 25 is evacuated and maintained at a sub-atmospheric pressure. A lift pin assembly 155 comprises lift pins 160a,b that are elevated through holes 165a,b in the electrostatic chuck 55 by a pneumatic lift mechanism 170. A robot arm (not shown) places the substrate 30 on the lift pins 160a,b, and the pneumatic lift mechanism 170 lowers the substrate 30 onto the receiving surface 120. After the substrate 30 is placed on the electrostatic chuck 55, the electrode 105 of the electrostatic chuck is electrically biased with respect to the substrate 30 by the voltage supply 145 to electrostatically hold the substrate 30. The voltage supply 145 provides a DC voltage of about 1000 to 3000 volts to the electrode 105. Helium, is supplied through the conduits 130 to grooves 135 in the receiving surface 120 at the interface between the substrate 30 and the electrostatic chuck 55 to thermally couple the substrate 30 to the electrostatic chuck 55. Thereafter, an energized process gas is provided in the chamber 25 to process the substrate 30 held on the substrate. On completion of the process, the pneumatic lift mechanism 170 raises the lift pins 160 to raise the substrate 30 off the receiving surface 120, allowing the substrate 30 to be removed by the robotic arm (not shown). Before raising the lift pins 160, the substrate 30 is electrically decoupled or de-chucked by dissipating the residual electrical charges holding the substrate 30 to the electrostatic chuck 55. This is accomplished, after the voltage to the electrode 105 is turned off, by grounding the electrode 105 or maintaining a plasma at another power level to provide a path to electrical ground for the electrostatic charges accumulated in the substrate 30.

Particular aspects of the electrostatic chuck 55 and the system for supporting and holding the chuck 55 in the chamber 25 will now be described. As shown in Figure 2, generally, the electrostatic member 100 of the electrostatic chuck 55 is supported by a base 175 that is shaped and sized to match the electrostatic member 100 to promote efficient heat transfer across the interfaces therebetween. The base 175 can comprise channels 180 through which heat transfer fluid is circulated to raise or lower the temperature of a substrate 30 held on the receiving surface 120 of the electrostatic member 100. This enables the temperature of the substrate to be precisely controlled to provide more uniform processing. A support 190 can also be provided to support the base 175, and the support 190 rests on the surface 50 of the chamber 25. The base 175 and the support 190 secure the electrostatic chuck 55 to the chamber 25, provide reduced levels of thermal expansion mismatch, and provide more uniform heat transfer rates across the interfaces therebetween.

Base

In one aspect of the present invention, the base 175 for supporting the electrostatic member 100 is fabricated to have a coefficient of thermal expansion that is sufficiently close to that of the electrostatic member 100 to reduce thermal expansion stresses that would otherwise cause the electrostatic member 100 to separate from the base 175. In this version, the base 175 comprises a composite material having a tailored coefficient of thermal expansion. The composite base 175 is composed of a plurality of materials, for example, a mixture of two or more materials, including a first material and a second material, the volume fraction of the two materials being selected so that the base 175 has a coefficient of thermal expansion that is within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member 100. Preferably, the first material is a ceramic and the second material is a metal to provide a composite material having some ductility and increased fracture toughness.

In one version, the base 175 comprises a porous ceramic infiltrated with molten metal. The metal fills all the pores in the ceramic when they are open and interconnected to one another, or only some of the pores at the surface of the porous

ceramic, when the pores are not interconnected throughout the structure. The coefficient of thermal expansion of a base 175 comprising a porous ceramic infiltrated with a molten metal is tailored by varying the volume fraction of the ceramic to the metal. Figure 3 shows the change in the coefficient of thermal expansion of the base 175 for increasing volume fraction of ceramic based on the formula

$$\alpha_b = (\alpha_m V_m E_m + \alpha_c V_c E_c) / (V_m E_m + V_c E_c),$$

where α_b is the CTE for the base 175,

α_m , V_m , and E_m , respectively, are the CTE, volume fraction, and Young's modulus for the metal, and

α_c , V_c , and E_c , respectively, are the CTE, volume fraction, and Young's modulus for the ceramic material.

For example, when the electrostatic member 100 comprises dielectric 115 composed of aluminum nitride, preferably, the base 175 comprises a coefficient of thermal expansion of from about 3 to about 15 ppm/°C, and more preferably from about 4 to about 10 ppm/°C, to provide a suitable level of CTE matching between the base 175 and the electrostatic member 100.

The ceramic material is capable of withstanding temperatures of at least about 400°C and more preferably at least about 600°C. Suitable ceramic materials include one or more of aluminum oxide, aluminum nitride, boron carbide, carbon, cordierite, mullite, silicon carbide, silicon nitride, silicon dioxide and zirconium oxide. Suitable metals for infiltrating the porous ceramic include aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof. The porous ceramic preferably comprises a pore volume of from about 20 to about 80 volume% to provide a sufficiently large volume for metal infiltration. In a preferred embodiment, the base 175 comprises silicon carbide (SiC) infiltrated with aluminum (Al), the volume fraction of the ceramic to the metal being from about 20 to about 80 volume%. As the volume fraction of ceramic to metal changes, so does the thermal and mechanical properties of the base 175. For example, referring to Table I, it is seen that for a base 175 comprising a silicon carbide infiltrated by aluminum, the coefficient of thermal expansion and tensile strength of the base 175 decreases as the volume fraction of ceramic to metal increases, while the thermal conductivity remains constant.

TABLE I

VOLUME FRACTION OF CERAMIC TO METAL (%)	63% SiC	65% SiC	70% SiC
CTE (ppm/°C)	7.9-8.1	7.2-7.7	5.7-7.0
TENSILE STRENGTH (GPa)	249	205	192
THERMAL CONDUCTIVITY (W/mk)	175	175	175

In another version, the base 175 further comprises carbon fibers 200 that are oriented to provide a coefficient of thermal expansion that matches that of the ceramic dielectric 115. For example, as shown in Figure 4b, the base 175 can comprise a first set of carbon fibers 200a oriented parallel to a first axis of orientation 205a, and a second set of carbon fibers 200b oriented parallel to a second axis of orientation 205b that is at an angle ϕ with respect to the first axis of orientation 205a. Preferably, the orientation and volume fraction of carbon fibers 200 are selected so that the base 175 has a coefficient of thermal expansion that is substantially isotropic in the same plane as that of the processing surface of the substrate 30 to minimize thermal expansion stresses on the electrostatic member 100. More preferably, the base 175 comprises carbon fibers 200 that are oriented in a plurality of orthogonal directions. The carbon fibers 200 oriented in a particular direction expand in the direction parallel to their axis 205a or 205b. Thus, orienting the carbon fibers 200 in orthogonal directions within a single plane tends to substantially equalize their thermal expansion in two or more different axial directions within the same plane to provide a more uniform coefficient of thermal expansion within the plane. In addition, the base 175 can comprise carbon fibers 200 oriented in a plurality of directions within the single plane - for example, at 20, 45, or 60° intervals - to provide an even more anisotropic thermal expansion within the plane.

The coefficient of thermal expansion of the base 175 can be further tailored to match that of the electrostatic member 100 by forming a base 175 comprising a hybrid or plurality of component members that each have a different coefficient of thermal expansion. The overall coefficient of thermal expansion of the base 175 depends on the expansion coefficient of the individual component members and on their linear dimensions, $\alpha_b = (\alpha_1 D_1 + \alpha_2 (D_2 - D_1))/D_2$.

where α_b is the overall coefficient of thermal expansion of the hybrid composite base,

α_1 and α_2 are CTEs of individual component members, and

D_1 and D_2 are linear dimensions of individual component members.

Preferably, the ratio of the linear dimensions of the component members are selected so that the coefficient of thermal expansion of the base 175 is within about $\pm 30\%$ of the CTE of the electrostatic member 100. The components of the base 175 are shaped and sized to cooperate to achieve multifunctional properties. For example, as shown in Figures 4a and 4b, the base 175 can comprise two components 210, 215 having circular symmetry to one another to provide different coefficients of thermal expansion at the center 220 and peripheral edge 225 of the overlying electrostatic chuck 55. In this version, the base 175 comprises a disk 210 surrounded by an annular ring 215, each having a different average coefficient of thermal expansion. Both the disk 210 and the annular ring 215 are made up of a porous ceramic infiltrated with metal as described above. However, the volume fraction of the ceramic to metal is different in each, and one or more can comprise carbon fibers 200 in differing volume fractions. Figure 4b shows a base 175 having a disk 210 comprising a composite material containing carbon fibers 200 that are oriented in at least two orthogonal directions to provide a more uniform expansion coefficient in a plane parallel to the plane of the substrate 30. The disk 210 is surrounded by an annular ring 215 made of porous silicon carbide infiltrated with metal.

In still another version, shown in Figure 5, the base 175 comprises a thermally insulating material such as a ceramic member that thermally insulates the electrostatic chuck 55 from the surface 50 of the chamber 25 (not shown) or the support 190. In this embodiment, the support 190 further comprises channels 230 for circulating heat transfer fluid therethrough. The base 175 serves as an interposer member lying between the electrostatic chuck 55 and the surface 50 of the chamber 25 or between the electrostatic chuck 55 and the support 190. This reduces the heat escaping from the electrostatic chuck 55 via heat conduction through the surface 50 of the chamber 25 to maintain the substrate 30 at higher temperatures. In addition, the base 175 enables the electrostatic chuck 55 to form a gas tight seal with an underlying support 190 or surface 50 of the chamber 25 by use of a conventional polymer O-ring 240. The O-ring 240 is typically made from a polymer, such as

polyethylene, polyurethane, polycarbonate, polystyrene, nylon, polypropylene, polyvinylchloride, fluoroethylene polymers, or silicone, all of which are susceptible to damage by high temperatures. For example, temperatures of over 200°C can cause a polyimide O-ring to lose its resilience and its ability to form a seal. Because of its low thermal conductivity, the base 175 provides a temperature differential sufficient high to enable the electrostatic chuck 55 to be vacuum sealed to the support 190 by an O-ring 240 without degradation of the O-ring. Preferably, the base 175 comprises a thermal conductivity sufficiently low to provide a temperature differential of at least about 100°C between the receiving surface 120 of the electrostatic chuck 55 and the bottom surface 50 of the chamber 25 or the support 190. More preferably, the base 175 comprises a thermal conductivity of less than about 6 W/mK.

In the embodiment shown in Figure 5, the base 175 is made from a ceramic material, such as for example, aluminum oxide, aluminum nitride, boron carbide, carbon, cordierite, mullite, silicon carbide, silicon nitride, silicon dioxide and zirconium oxide. Of these mullite and cordierite are preferred, because they have thermal conductivities of less than about 6 W/mK and coefficients of thermal expansion of about 5 ppm/°C which is very close to that of the dielectric 115 of the electrostatic chuck 55. Both mullite and cordierite also have a high resistance to thermal shock. Thermal shock results from the thermal stress caused by rapid heating and cooling and it can cause microcracks to occur in a material which lead to structural failure. Thus, a high resistance to failure from thermal shock is desirable for a base 175 that is alternately heated and cooled by the support 190. In addition to having a high resistance to thermal shock, both mullite and cordierite have a high resistance to erosion by energized process gases making them useful in processes using reactive process gases, such as fluorine.

Bond Layer

In another aspect of the present invention, the base 175 is bonded or joined to the electrostatic member 100 by a bond layer 250 made from a material having high thermal conductivity, as illustrated in Figure 6. The bond layer 250 can comprise, for example a metal, such as aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof, to provide more uniform heat transfer rates

across the bond layer 250 which is desirable to provide more uniform processing. The bond layer 250 eliminates use of bolts for securing the electrostatic member 100 to the base 175 and consequently reduces mechanical stresses on the electrostatic chuck 55. Also, the bond layer 250 has a homogeneous composition that provides more uniform heat transfer rates across the substrate 30, and reduces the differences in thermal impedances that occur at the interface between the base 175 and the electrostatic member 100. Differences in thermal impedances can occur, for example, at the interface between the base 175 and the electrostatic member 100 that has a rough surface with gaps and non-contact areas that have a high thermal impedance relative to regions having smooth surfaces. The bond layer 250 is especially desirable for an electrostatic chuck 55 comprising a ceramic dielectric 115 which has a lower surface 252 that forms the interface between the electrostatic member 100 and the base 175 that often contains microscopic gaps and fissures (not shown). In conventional electrostatic chucks, these gaps and fissures can create a thermal barrier between the electrostatic member 100 and the base 175. In contrast, in an electrostatic chuck 55 according to the present invention, the bond layer 250 fills the gaps and fissures to provide a smooth surface to provide more controllable and uniform heat transfer rates.

Preferably, the bond layer 250 is ductile and compliant to provide an interface that absorbs the thermal stresses arising from the thermal expansion mismatch between the dielectric 115 of the electrostatic member 100 and the base 175 without damaging the electrostatic chuck. While a bonded joint provides uniform heat transfer rates, it is often difficult for a bonded joint to withstand the thermal stresses arising from differences in thermal expansion coefficients of dissimilar materials, such as the electrostatic member 100 and the base 175. A bond layer 250 according to the present invention, made from a ductile and compliant material can flex and absorb thermal stresses that arise from the difference in thermal expansion coefficients of the electrostatic member 100 and the base 175. The bond layer 250 could also be made from a polymer which is compliant and able to absorb thermal stresses. However, conventional polymer materials are often eroded by erosive plasma and process gases, and thus it is preferred to use a compliant metal to form the bond layer 250. Also, the bond layer made of metal generally has a higher thermal conductivity than a bond layer made of polymer.

Preferably, the bond layer 250 is made by infiltrating molten metal into the interface between the dielectric 115 and the base 175. For example, a base 175 comprising a composite of porous ceramic and metal can be bonded to the dielectric 115 of the electrostatic member 100 by a bond layer 250 which is formed by infiltrating molten metal into the porous ceramic of the dielectric 115 and base 175. During the infiltration process, the molten metal reacts with the ceramic material to form an interfacial reaction layer that forms the bond layer 250. It is believed that the reaction layer is confined to a zone near their contact surfaces and penetrates less than about 250 μm into each porous ceramic surface to provide a bond layer 250 having a thickness of from about 50 to about 500 μm . This method of joining the electrostatic member 100 to the base 175 provides a strong, vacuum tight, bond layer 250 that is also substantially free of voids and provides uniform thermal transfer rates across the interface between the base 175 and the electrostatic member 100. Furthermore, infiltration of molten metal into the porous ceramic provides a relatively thin bond layer 250 that minimizes bowing of the electrostatic member 100 which would otherwise warp the receiving surface 120 and render the electrostatic chuck 55 unusable.

In another version, the base 175 and the electrostatic member 100 are joined together by brazing. By brazing it is meant bonding of a ceramic member to another ceramic or metal member, using an alloy having a melting point lower than either of the members being joined. In one method, a thin sheet of brazing metal (not shown) is placed between the electrostatic member 100 and the base 175. The assembled electrostatic member 100 and base 175 is heated to allow the metal to react with surfaces of the electrostatic member 100 and the base 175 to form the strong ductile bond layer 250. Alternatively, the brazing metal can be deposited directly on the surfaces to be joined and the assembled electrostatic member 100 and base 175 heated to form the bond layer 250. The brazing metal can comprise aluminum, zinc, copper, silicon, or alloys thereof. The assembled electrostatic member 100 and base 175 are heated to a temperature sufficiently high to melt the brazing metal, but less than the temperatures that would cause softening of the electrostatic member 100 and base 175. Generally, the electrostatic member 100 and base 175 are heated to a temperature of up to about 600°C for about 180 seconds to form the brazed bond layer 250.

Heater

In another aspect of the present invention, the electrostatic chuck 55 comprises a heater 235 positioned below and abutting the dielectric 115 of the electrostatic member 100 to heat the substrate 30. The dielectric 115 diffuses the heat from the heater 235 and thereby provides more uniform temperatures across the substrate 30. Also, the ability of the ceramic material of the dielectric 115 to withstand high temperatures allows the heater 235 to be operated at more elevated temperatures than that obtainable with an electrostatic chuck 55 having a polymer dielectric. A preferred heater 235 comprises a resistive heating element 255 that has a resistance sufficiently high to raise the temperature of the substrate 30 by at least about 100°C. The resistive heating element 255 can be made from tungsten, molybdenum, iron, nickel, copper, Inconel or alloys thereof. Preferably, the resistive heating element 255 comprises a planar shape that is sized to match the size of the substrate 30 to provide a heat flux that is relatively uniform across the entire backside of the substrate 30. The resistive heating element 255 can be shaped as a flat coil wound in a spiral or whirl, a wire mesh, or a zig-zag shaped element. A heater power supply 260 is electrically connected to the resistive heating element 255 to power the heater 235. The resistive heating element 255 is electrically connected to the heater power supply 260 by heater connectors 270a,b that comprise a refractory metal and are bonded to the resistive heating element 255 by infiltration of a metal having a relatively low melting temperature. The heater power supply 260 comprises a source which has a power output of from about 500 to about 3500 watts, and which can be adjusted to provide a current level that achieves a desired substrate temperature. Preferably, a temperature controller 275 is provided to monitor the substrate temperature and adjust the output of the heater 235 to maintain the substrate 30 at temperatures from about 25 to about 500°C.

Preferably, the heater 235 is embedded in the base 175 rather than in the dielectric 115 of the electrostatic member 100. Prior art chucks that have a heater embedded in a ceramic dielectric often crack from the high thermal stresses generated by localized expansion of the ceramic material surrounding the heater 235. In contrast, placing the heater 235 below the ceramic dielectric 115 or inside the base 175 heats the base 175 which uniformly heats the dielectric 115 by conduction

without causing excessive thermal stresses in the dielectric 115. Also, the embedded heater 235 can maintain the substrate 30 in a small range of temperatures with more accuracy and stability than that obtained by radiative heating, because the thermal mass of the base 175 and the dielectric 115 serve as heat sinks that prevent localized temperature fluctuations from excessively changing the temperature of the substrate 30.

The substrate 30 is heated by powering the resistive heating element 255 of the heater 235 by the heater power supply 260. A power level of the current provided by the heater power supply 260 is adjusted by the temperature controller 275 in relation to a measured temperature of the substrate 30 to raise the substrate 30 to a temperature suitable for processing the substrate 30. The base 175 can reduce the flow of heat from the electrostatic chuck 55 to the support 190 or the surface 50 of the chamber 25. Optionally, heat is removed from a support 190 below the base 175 by circulating a heat transfer fluid through the channels 230 in the support 190. During processing, the temperature of the substrate 30 is monitored using a temperature sensor 285, such as a thermocouple embedded in the receiving surface 120 that provides a signal to the temperature controller 275 that controls the heater 235 to maintain the substrate 30 within the desired narrow temperature range. Preferably, the electrostatic chuck 55 of the present invention is able to maintain the substrate 30 at a temperature of from about 25 to about 500°C within a range of about $\pm 10^\circ\text{C}$, and more preferably, within a range of about $\pm 5^\circ\text{C}$.

Support

The support 190 serves to secure the electrostatic chuck 55 to the chamber 25, and also perform one or more of other functions, such as reduce thermal expansion stresses between the chuck 55, base 175, and chamber 25; serve as a thermal insulator or thermal conductor depending upon the desired temperature of the substrate 30; and also control heat transfer rates between the substrate 30 and the chamber 25.

One version of the support 190 is adapted to reduce thermal expansion stresses between the chuck 55, base 175, and the surface 50 of the chamber 25. In

this version, the support 190 is fabricated from a material having a coefficient of thermal expansion that is within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the base 175. More preferably, the support 190 comprises a coefficient of thermal expansion of from about 2 to about 27 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ and most preferably of from about 3 to about 12 ppm/ $^{\circ}\text{C}$. The support 190 comprises a ceramic, metal, or composite or mixture of ceramic and metal, including by way of example, one, or more of aluminum oxide, aluminum nitride, boron carbide, carbon, cordierite, mullite, silicon carbide, silicon nitride, silicon dioxide, zirconium oxide, aluminum, copper, molybdenum, titanium, tungsten, zirconium and mixtures thereof. For example, a suitable support 190 for matching the thermal expansion coefficient of a base 175 comprising a composite of aluminum and silicon carbide (AISI) (which has a CTE of from about 4 to about 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$) comprises zirconium (which has a CTE of about 6 ppm/ $^{\circ}\text{C}$).

In another version, the support 190 is bonded to the base 175 of the electrostatic chuck 55 by a second bond layer 295 of compliant and ductile material that is provided to further absorb the thermal stresses that occur from differences in thermal expansion of the support 190 and the base 175. The bond layer 295 also generally has a thickness of from about 50 to about 500 μm . The bond layer 295 is made from a metal such as aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof. In addition, the bond layer 295 provides an interface with a more homogeneous composition and more uniform heat transfer rates to and from the substrate 30. The bond layer 295 also reduces the differences in thermal impedances that occur at the interface between the base 175 and the electrostatic member 100.

Referring to Figures 7a to 7c, in another version, the support 190 is adapted to thermally insulate the base 175 of the electrostatic chuck 55 from the surface 50 of the chamber 25. In this version, the support 190 comprises a cavity 300 that is shaped and sized to serve as a thermal barrier that insulates the electrostatic chuck 55 from the surface 50 of the chamber 25. The cavity 300 is shaped and sized to provide a temperature differential that is sufficient to enable the electrostatic chuck 55 to be sealed to the surface 50 by a conventional low temperature vacuum seal, such as an O-ring 240. As explained above, high temperatures can cause the polymer O-ring 240 to lose its resilience and therefore its ability to form a seal. Preferably, the support 190 with the cavity 300 comprises a

thermal conductivity of less than about 6 W/mK to control heat transfer rates from the electrostatic chuck 55. More preferably, the support 190 comprises a cavity 300 having a cross-sectional area that is shaped and sized to provide a temperature differential of at least about 100°C between the chuck 55 and the surface 50 of the chamber 25 when the substrate 30 is held at a temperature of about 500°C.

Referring to Figure 7a, the cavity 300 comprises a cross-section having dimensions only slightly smaller than and corresponding to those of the support 190. Alternatively, the cavity 300 can comprise a more complex shape tailored to control the rate at which heat is removed from different portions of the base 175 to provide more uniform temperatures across the receiving surface 120 of the electrostatic chuck 55. For example, as shown in Figure 7b, the cavity 300 can also comprise a trapezoidal cross-section to increase heat removal from the peripheral edge of the electrostatic chuck 55, when the peripheral edge is subjected to a higher heat load from the energized process gas. In another alternative, shown in Figure 7c, the cavity 300 comprises an annular channel having a rectangular cross-section which allows more heat to be removed from the center of the base 175 thereby compensating for a greater heat flux at the center of the electrostatic chuck 55.

Referring to Figure 7c, the cavity 300 can further comprise a gas inlet 310a and a gas outlet 310b for supplying and removing a gas, such as helium, argon, nitrogen, or air to the cavity 300. By varying the pressure of the gas in the cavity 300, the amount of heat conducted from the substrate 30 through the support 190 can also be varied. The pressure of the gas in the cavity 300 is regulated to maintain substantially uniform temperatures across the receiving surface 120 of the chuck 55. Typically, the pressure of the gas is less than about 50 mTorr, and more preferably, the pressure of the gas is from about 2 to about 50 mTorr.

Optionally, as illustrated in Figure 6, the support 190 can comprise threaded inserts 315 of a low thermal expansion alloy, such as Kovar™ or Invar™, into which bolts 320 are threaded to secure the support 190 (with the electrostatic chuck 55 bonded thereto) to the chamber 15. The threaded inserts 315 provide greater resilience and compliance than the brittle material of a ceramic support 190 and are more easily machined to provide threads for receiving the bolts 320.

Alternatively, the support 190 is secured in the chamber 25 by a clamping ring 325, as shown in Figure 1. The clamping ring 325 allows movement due to differences in thermal expansion of the support 190 and the surface 50 of the chamber 25, thereby preventing warping or cracking of the support 190 and improving the reliability of the vacuum seal between the support 190 and the surface 50. Also, any mechanical stresses induced by conventional mounting bolts made of metal are reduced, thereby extending the operating life of the electrostatic chuck 55 and support 190. In yet another embodiment, shown in Figures 7a to 7c, one or more of the clamping ring 325, the base 175, or the support 190 comprise a curved surface 330 which further reduces the mechanical stresses on the electrostatic chuck 55 and the support 190 by distributing a clamping force over a larger area.

Method of Fabrication

In another aspect, the present invention is directed to a method of fabricating an electrostatic chuck 55 comprising an electrostatic member 100 having an electrode 105 covered by a dielectric 115, a base 175 joined to the electrostatic member 100, and, optionally, a heater 235. A preferred method of fabricating the electrostatic chuck 55 will now be described; however, other methods of fabrication can be used to form the electrostatic chuck 55 and the present invention should not be limited to the illustrative methods described herein.

Forming the Electrostatic Member

The dielectric 115 of the electrostatic member 100 comprises a ceramic or polymer material. Suitable high temperature materials include ceramics such as for example, one or more of aluminum oxide, aluminum nitride, silicon nitride, silicon dioxide, titanium dioxide, zirconium oxide, or mixtures thereof. Generally, aluminum nitride is preferred for its high thermal conductivity which provides high heat transfer rates from the substrate 30 to the electrostatic chuck 55. Also, aluminum nitride has a low CTE of about 5.5 ppm/°C which closely matches a CTE of an electrode 105 made of molybdenum which has a CTE of about 5.1 ppm/°C. Also, aluminum nitride exhibits good chemical resistance in erosive environments, especially halogen containing plasma environments. The dielectric 115 is formed by freeze casting,

injection molding, pressure-forming, thermal spraying, or sintering a ceramic block with the electrode 105 embedded therein. Preferably, a ceramic powder is formed into a coherent mass in a pressure forming process by application of a high pressure and a temperature. Suitable pressure forming apparatuses include an autoclave, a platen press, or an isostatic press, as for example, described in U.S. patent application no. 08/965,690 filed November 6, 1997; which is incorporated herein by reference.

The electrode 105 of the electrostatic member 100 comprises a refractory metal capable of withstanding high temperatures, such as temperatures of at least about 1500°C. Suitable metals include, for example, tungsten, molybdenum, titanium, nickel, tantalum, molybdenum or alloys thereof. Preferably, the electrode 105 is made of molybdenum, which has a thermal conductivity of about 138 W/mK, which is substantially higher than that of most metals and alloys commonly used for electrodes 105 and enhances heat transfer rates through the electrostatic member 100. In the embodiment shown in Figure 6, the electrode 105 comprises a thin mesh which is embedded in the dielectric 115 and is shaped and sized depending upon the shape and size of the substrate 30.

In a preferred method of forming an electrostatic member 100 with an embedded electrode 105, an isostatic press is used to apply a uniform pressure over the entire surface of the electrostatic member (not shown). A typical isostatic press comprises a pressure resistant steel chamber having a pressurized fluid for applying a pressure on an isostatic molding bag. A powdered precursor comprising a suitable ceramic compound mixed with an organic binder, such as polyvinyl alcohol, is packed around the electrode 105 in the isostatic molding bag and the bag is inserted in the isostatic press. The fluid in the pressure chamber is pressurized to apply a pressure on the ceramic material. It is desirable to simultaneously remove air trapped in the isostatic molding bag using a vacuum pump to increase the cohesion of the powdered precursor. The unitary ceramic preform comprising a dielectric 115 having an electrode 105 therein is removed from the molding bag and sintered to form an electrostatic member 100 with an embedded electrode 105. The gas flow conduits 130 are subsequently formed in the electrostatic member 100 by drilling, boring, or milling; or they can be formed by placing suitable inserts in the ceramic preform during the molding process. After the electrostatic member 100 is formed, the

receiving surface 120 is ground to obtain a flat surface to efficiently thermally couple the substrate 30 to the electrostatic chuck.

The electrical connector 140 is electrically connected to the electrode 105 of the electrostatic chuck 55 to conduct an electrical charge to the electrode 105 from a voltage supply terminal 340 in the chamber 25. The electrical connector 140 is also made of a refractory metal having a melting temperature of at least about 1500°C. Suitable metals include, for example, tungsten, titanium, nickel, tantalum, molybdenum or alloys thereof. The electrical connector 140 comprises a rod or plug 345 having a length sufficiently long to extend from the voltage supply terminal 340, through a hole 350 in the dielectric 115 and the support 190, to electrically engage the electrode 105. Other equivalent structures for the electrical connector 140 include rectangular leads, contact posts, and laminated conducting structures.

In a preferred structure, shown in Figure 6, the plug 345 of the electrical connector 140 is bonded to the electrode 105 by a conducting material in a liquid phase. Preferably, the conducting liquid phase comprises a metal having a softening temperature of less than about 1500°C, and more preferably, less than about 600°C. Suitable materials include aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof. The electrical connector 140 is aligned in the hole 350 to provide a gap 355 sufficiently large to allow the conducting liquid phase to infiltrate between and electrically connect the plug 345 to the electrode 105. The more ductile conducting material that fills the gap 355 also absorbs thermal stresses arising from the vertical expansion of the electrical connector 140 relative to other surrounding structures, such as the electrostatic member 100. The volume of gap 355 in which the metal is infiltrated is sufficiently large to enable the metal to substantially fill the space between the electrical connector 140 and the electrode 105 to provide a good electrical connection. However, it has been discovered that reducing the volume of gap 355 into which the metal is infiltrated serves to significantly reduce cracking of the ceramic material surrounding the electrical connector 140 and can also reduce bowing of the electrostatic member 100. In the embodiment shown in Figure 6, the gap 355 is defined by a bore 365 in the dielectric 115, the bore 365 having a first diameter that is smaller than the outer diameter of the plug 345 of the electrical connector 140, and a second diameter larger than the diameter of the plug 345 to

allow it to pass through. A shoulder 370 defined by the first and second diameters of the bore 365 serves as a stop that prevents the electrical connector 140 from contacting the electrode 105, thereby forming a gap 355 therebetween that can be infiltrated by molten or softened metal (which is later solidified) to electrically connect the plug 345 to the electrode 105. Thus, the electrical connector 140 is not joined directly to the electrode 105 but instead is electrically coupled via the gap 355 filled with a metal which can readily deform and absorb thermal expansion and other mechanical stresses. This joint provides a more reliable electrical connection between the electrical connector 140 and the electrode 105.

Alternatively, the electrical connector 140 can be electrically connected to the electrode 105 by a brazed connection. Referring to Figures 8a and 8b, a metal insert 375 is placed between the plug 345 and the shoulder 370 of the bore 365. The electrostatic chuck 55 and the plug 345 are then heated causing the metal insert 375 to soften and fill the gap 355. Typically, the electrostatic chuck 55 and the plug 345 are maintained at a temperature of about 600°C for at least about 180 seconds. Thereafter, they are cooled to solidify the metal in the gap 355 to form a brazed connection between the electrical connectors 140 and the electrode 105 as shown in Figure 8b. Optionally, a pressure can be applied to the plug 345 of the electrical connector 140 while heating the electrostatic chuck 55 to cause the softened metal from the metal insert 375 to infiltrate and fill the gap 355.

Optionally, as shown in Figure 6, tubes 380 of a ceramic material, such as aluminum oxide, extend through one or more of the dielectric 115, the support 190 and the base 175. These tubes 380 serve to electrically isolate electrical connector 140 and the heater connectors 270a,b from the bond layers 250, 295, the base 175, and the support 190. They also align the conduit 130 and holes 165a,b through which the lift pins 160 pass to prevent the formation of a plasma glow discharge therein during operation of the electrostatic chuck 55. The tubes 380 comprise an outer diameter that allows them to be held in place substantially without the use of an adhesive. Preferably, the tubes 380 surrounding the electrical connector 140 and the heater connector 270a,b comprise an inner dimension and a shape that conforms to the connectors 140, 270a,b. More preferably, the tubes 380 surrounding the

conduits comprise an inner diameter sufficiently small to prevent plasma formation in the conduit 130 and in the lift pin holes 165a,b.

Forming the Base

The version of the base 175 supporting the electrostatic member 100 which comprises porous ceramic infiltrated with metal is fabricated by forming a ceramic preform (not shown) and infiltrating a liquid or molten metal into the ceramic. The ceramic preform is made from a ceramic powder having an average particle size that provides the desired volume of porosity in the ceramic preform. The average particle size of the ceramic powder can be obtained by milling processes, such as ball milling or attrition milling. The total porosity can be further increased or decreased using agglomerated powder comprising particles of various sizes. Although the desired pore size varies depending on the ceramic being infiltrated, it is generally desirable that the ceramic powder have an average particle size of from about 0.1 to about 50 μm , to yield a volume porosity of from about 20 to about 80 volume%.

The version of the base 175 supporting the electrostatic member 100 comprising an embedded heater 235 is formed by placing the resistive heating element 255 in a mold (not shown), packing the mold with ceramic powder, and applying a pressure of from about 48 MPa to about 69 MPa to the mold to form the preform. The pressure applied to the ceramic powder can be applied using an autoclave, a platen press, or an isostatic press. Preferably, an isostatic press is used to apply a uniform pressure over the entire surface of the mold to form a ceramic preform having high strength. In isostatic pressing, additives such as polyvinyl alcohol, plasticizers such as polyethylene glycol, and lubricants such as aluminum stearate are mixed with the ceramic powder to improve the mechanical strength of the preform. Because the preform has sufficient strength, voids for connectors 140, 270a,b to the electrode 105 and the resistive heating element 255, the conduit 130 for the heat transfer gas, and the holes 165a,b for the lift pins 160 can be formed using conventional machining techniques such as drilling, boring, or milling while the ceramic preform is in the green state.

The green preform is sintered to obtain a ceramic preform with the optional resistive heating element 255 embedded therein. In the sintering process, the green preform is heated in the presence of a gas at a high partial pressure in order to control the total porosity and average pore size of the sintered body. Preferably, the partial pressure of the gas is from about 1 to about 10 atmospheres. If binders or other organic materials are used in the preform forming process, these additives are burned out in the sintering step. In the sintering process, the green preform is placed in a furnace and slowly heated to a temperature of from about 300 to about 1200°C in a flowing gas such as nitrogen to volatilize the organic materials to form a dense ceramic.

The second step of forming the base 175 involves an infiltration process. After a ceramic having the desired total porosity and pore size is obtained, a liquid phase of metal or molten metal is infiltrated into the voids or pores of the ceramic. The infiltration can be accomplished by any suitable process including, for example, a method in which molten metal is brought into contact with a ceramic and infiltrates into the interconnecting pores of the ceramic by capillary action. In a preferred method, infiltration is accomplished in a pressure vessel using a pressure infiltration process. In this method, the ceramic is placed in the pressure vessel with metal around it, and the vessel evacuated and heated to remove air from the pores of the ceramic. Once the pressure vessel is evacuated, the ceramic and surrounding metal are heated to a temperature corresponding to the softening temperature of the metal to be infiltrated. The molten metal is introduced into the pressure vessel under pressure to fill substantially all voids, cavities and pores in the ceramic. For example, in the embodiment wherein the ceramic comprises silicon carbide having a porosity of about 30%, the infiltration of molten aluminum is accomplished by maintaining the pressure vessel at a pressure of about 1030 kPa (150 psi), and a temperature of at least 600°C for about 180 seconds.

Forming the Bond Layers

The base 175 is then bonded to the ceramic dielectric 115 of the electrostatic member 100 by the infiltration process described above. In a preferred embodiment, the electrostatic member 100 is placed on top of the base 175 in a

pressure vessel and molten metal or alloy is brought into contact with the assembly. Typically, the process vessel is maintained at a pressure of from about 690 kPa (100 psi) to about 1380 kPa (200 psi), and the molten metal is maintained at temperature of from about 600 to about 700°C for at least about 180 seconds. During the infiltration process, molten metal reacts with the ceramic dielectric 115, forming an intermetallic bond layer 250 between the electrostatic member 100 and the base 175. After infiltration, the assembled electrostatic chuck 55 is cooled to solidify the metal to form the bond layer 250. It has been found that a substantially void-free and crack-free bond between the electrostatic member 100 and the base 175 can be achieved by controlling the rate at which the electrostatic chuck assembly is cooled. Preferably, the electrostatic chuck assembly is cooled at a rate of from about 10 to about 100°C/hr.

In an alternative method, the base 175 is formed and bonded to the electrostatic member 100 in a single step. In this method, the electrostatic member 100 with the electrode 105 is placed on the sintered preform of the base 175 in a pressure vessel. Once the pressure vessel has been completely evacuated, a molten metal is introduced into the vessel under pressure to substantially fill surface voids, cavities and pores in the preform to form a base 175 and to also infiltrate into the interface and bond the base 175 to the electrostatic member 100.

In another embodiment, the support 190 is also bonded to the lower surface of the base 175 by the infiltration process. As described above, the support 190 can comprise a ceramic or metal structure that is shaped to correspond to the shape of the base 175. The support 190 can be formed by a variety of methods, including for example, casting, isostatic pressing, or machining a block of metal or sintered ceramic material. The cavity 300 is formed in the base 175 by drilling, boring, or milling. For example, in a preferred embodiment shown in Figure 7c, the support 190 is formed from two pieces of cast zirconium. A top member 190a comprises a right cylinder having a cavity 300 with an annular channel therein, and a lower plate 190b that covers the cavity 300. Optionally, the lower plate 190b can also be machined to provide the gas inlet 310a and the gas outlet 310b for supplying and exhausting heat transfer gas from the cavity 300 respectively. After forming the cavity 300, the top and bottom surfaces of the assembled support 190 are ground

until the surface roughness of the support 190 is less than about 1 micron. Surface grinding is needed for the support 190 to uniformly contact the base 175 and to provide a strong and substantially void free bond layer 295 between the support 190 and the base 175. A smooth bottom surface is useful to enhance the vacuum seal between the support 190 and the bottom surface 50 of the chamber 25. After grinding, the support 190 is thoroughly cleaned to remove grinding debris. For those embodiments in which the support 190 comprises a metal, the exposed surfaces of the support 190 can be treated or coated with a material to reduce erosion or corrosion by the energized process gases. For example, the exposed surfaces of the support 190 can be anodized or coated with thermally sprayed alumina.

The following examples illustrate the thermal expansion compatibility of a variety of combinations of materials that can be used to form the electrostatic chuck 55, the base 175 and the support 190, or for bonding the electrostatic member 100 to a base 175 by the bond layer 250. The test coupons are scaled down to approximate the dimensions of an electrostatic chuck 55 and are made from the different materials bonded together by the infiltration process of the present invention. The silicon carbide and mullite materials were high porosity materials infiltrated with a compliant metal, such as aluminum. In the infiltration process, molten aluminum was infiltrated in a heated and pressurized vessel at a pressure of about 1030 kPa (150 psi) and a temperature of about 600°C.

In Examples 1 to 9, the surface flatness of the bonded test coupons was measured using a profilometer to determine the degree and direction of bowing which measures the curvature of a surface from the center to a peripheral edge occurring due to a thermal expansion mismatch of two different materials bonded together. Positive bowing occurs when the center of a surface is higher relative to the peripheral edge, and negative bowing occurs when the peripheral edge is higher. It is desirable for the receiving surface 120 of the electrostatic chuck 55 to be flat to prevent breaking of a substrate held to the surface, and to reduce any non-uniformity in the heat transfer rates which occurs when one portion of the substrate 30 is closer to the electrostatic chuck 55 or to the source of the energized process gas. For example, a surface 120 having a diameter of about 200 mm should exhibit less than about 254 μm (10 mils) of bowing. Excessive bowing can also cause the dielectric

115, base 175, support 190, or the bond layers 250, 295 between them to crack reduce the operating life of the electrostatic chuck 55, or contaminate the chamber 25.

Referring to Table II, bonded test coupons sized 100 by 180 mm and having a thickness of 10 to 12 mm were repeatedly cycled between room temperature and a temperature of 300°C or higher. Subsequent testing and examination demonstrate the ability of the metal-ceramic composite and the bond of the present invention to securely bond different materials with an acceptable level of bowing and microcracking.

TABLE II

EXAMPLE NO.	MATERIALS BONDED	CTE MISMATCH	BONDING QUALITY
1	AlSiC to AlN	6.9 to 5.5	Excellent/positive bowing of less than about 10 mils.
2	AlSiC to Al ₂ O ₃	6.9 to 7.1	Excellent/positive bowing of less than about 6 mils.
3	AlSiC to Mullite	6.9 to 7.9	Excellent/No bowing, Mullite cracking
4	AlSiC to Ti alloys	6.9 to 9.5	Excellent/positive bowing
5	AlSiC to AlSiC	6.9 to 6.9	Excellent/No bowing
6	AlSiC to Metal (Mo, Ta, W, Kovar and Invar)	6.9 to 6.0	Excellent/No bowing
7	Al-SiSiC to AlN	5.8 to 5.5	Excellent/positive bowing of less than about 2 mils.
8	AlC to AlN	4.8 to 5.5	Excellent/negative bowing of less than about 3 mils.
9	AlC to AlC	4.8 to 4.8	Excellent/No bowing

30

In this manner, the present invention provides a system for holding and supporting a substrate 30 that is capable of maintaining the substrate 30 in a narrow range of high temperatures. The substrate 30 is heated or cooled depending on the heat provided by the plasma and the optional heater 235. In addition, the electrostatic chuck 55, base 175, and support 190 can rapidly heat or cool the substrate 30 without fracturing or microcracking from thermal shock or thermal expansion stresses. Also, the present invention provides a reliable electrical connection between the electrical connector 140 and the electrode 105 of the electrostatic chuck 55.

Although the present invention has been described in considerable detail with regard to certain preferred versions thereof, other versions are possible. For example, the electrostatic chuck can be used to hold other substrates, such as flat panel displays, circuit boards, and liquid crystal displays as apparent to those skilled in the art and without deviating from the scope of the invention. Also, the electrostatic chuck of the present invention can be used in other environments, such as physical vapor deposition and chemical vapor deposition chambers. Therefore, the appended claims should not be limited to the description of the preferred versions contained herein.

What is claimed is:

1. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:
 - an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and
 - a base below the electrostatic member, the base comprising a composite of a plurality of materials.
2. An electrostatic chuck according to claim 1 wherein the composite comprises a ceramic and a metal.
3. An electrostatic chuck according to claim 1 wherein the composite comprises at least one of the following characteristics:
 - (i) one or more of aluminum oxide, aluminum nitride, boron carbide, carbon, cordierite, mullite, silicon carbide, silicon nitride, silicon dioxide and zirconium oxide;
 - (ii) aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof;
 - (iii) silicon carbide and aluminum;
 - (iv) a volume fraction of a ceramic to a metal such that the base has a coefficient of thermal expansion of within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member;
 - (v) a volume fraction of a ceramic to a metal such that the base and the electrostatic member each have a coefficient of thermal expansion of from about 4 to about 10 ppm/°C; or
 - (vi) a porous ceramic infiltrated with a metal.
4. An electrostatic chuck according to claim 3(vi) wherein the porous ceramic comprises a pore volume of from about 20 to about 80 volume%.
5. An electrostatic chuck according to claim 1 wherein the base is bonded to the electrostatic member by a bond layer.

6. An electrostatic chuck according to claim 5 wherein the bond layer comprises a metal.
7. A chamber for processing a substrate, the chamber comprising the electrostatic chuck of claim 1.
8. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:
 - an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and
 - a base bonded to the electrostatic member by a bond layer.
9. An electrostatic chuck according to claim 7 wherein the bond layer comprises a metal.
10. A method of fabricating an electrostatic chuck for holding a substrate, the method comprising the steps of:
 - (a) forming an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and
 - (b) forming a base comprising a composite of a plurality of materials and bonding the base to the electrostatic member.
11. A method according to claim 10 wherein step (b) comprises the step of forming a base by infiltrating a metal into a porous ceramic.
12. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:
 - (a) an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate;
 - (b) a base bonded to the electrostatic member, the base comprising a composite of a plurality of materials; and
 - (c) a support bonded to the base.

13. An electrostatic chuck according to claim 12 further comprising at least one of the following characteristics:

- (i) the base is bonded to the electrostatic member by a metal layer;
- (ii) the support is bonded to the base by a metal layer;
- (iii) the base comprises a coefficient of thermal expansion that is within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member; or
- (iv) the base comprises a porous ceramic infiltrated with metal.

14. A method of fabricating an electrostatic chuck for holding a substrate, the method comprising the steps of:

- (a) forming an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and
- (b) forming a base comprising a composite of a plurality of materials and bonding the electrostatic member to the base.

15. A method according to claim 14 further comprising forming a support and bonding the support to the base.

16. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:

- (a) an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and
- (b) a base below the electrostatic member, the base comprising a thermally insulating material, and the base having a coefficient of thermal expansion within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member.

17. An electrostatic chuck according to claim 16 wherein the base comprises a coefficient of thermal expansion of from about 4 to about 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

18. An electrostatic chuck according to claim 16 further comprising a support between the base and a surface of a chamber, and wherein the coefficient of

thermal expansion of the base lies between the coefficients of thermal expansion of the electrostatic member and support.

19. An electrostatic chuck according to claim 16 wherein the base comprises cordierite or mullite.

20. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:

an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and

a base below the electrostatic member, the base comprising cordierite or mullite.

21. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:

an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate;

a base below the electrostatic member; and

a support below the base, the support having channels for circulating heat transfer fluid.

22. An electrostatic chuck according to claim 21 wherein the base comprises cordierite or mullite.

23. A method of fabricating an electrostatic chuck for holding a substrate, the method comprising the steps of:

(a) forming an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate;

(b) forming a base having a surface for supporting the electrostatic member; and

(c) forming a support having channels for holding heat transfer fluid and bonding the support to the base.

24. A method according to claim 23 wherein step (c) comprises the step of bonding the support to the base by a metal comprising one or more of aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof.

25. A method according to claim 23 comprising forming a base having a thermal conductivity that is sufficiently low to maintain a temperature differential of at least 100°C between the electrostatic member and the support.

26. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:

an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and
a base below the electrostatic member, the base comprising carbon fibers.

27. An electrostatic chuck according to claim 26 wherein the carbon fibers are oriented in a plurality of directions, or oriented so that the base comprises a coefficient of thermal expansion that is substantially isotropic in one plane.

28. An electrostatic chuck according to claim 26 wherein the base comprises at least one of the following characteristics:

(i) a first set of carbon fibers oriented parallel to a first axis of orientation, and a second set of carbon fibers oriented parallel to a second axis of orientation;

(ii) carbon fibers oriented in a plurality of orthogonal directions;

(iii) a volume fraction of carbon fibers that is selected so that the base has a coefficient of thermal expansion within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member; or

(iv) a coefficient of thermal expansion of from about 4 to about 10 ppm/°C.

29. An electrostatic chuck according to claim 26 wherein the base further comprises an annular ring surrounding the carbon fibers.

30. An electrostatic chuck according to claim 29 wherein the annular ring comprises first and second components having different coefficients of thermal expansion.

31. An electrostatic chuck according to claim 29 wherein the annular ring comprises porous ceramic and metal.

32. An electrostatic chuck according to claim 31 wherein the ceramic comprises silicon carbide and the metal comprises aluminum.

33. A method of fabricating an electrostatic chuck, the method comprising the steps of:

- (a) forming an electrostatic member comprising an electrode covered by dielectric;
- (b) forming a base comprising carbon fibers; and
- (c) bonding the base to the electrostatic member.

34. A method according to claim 33 wherein step (b) comprises at least one of the following:

- (i) orienting carbon fibers so that the base has a coefficient of thermal expansion that is substantially isotropic in a plane;
- (ii) orienting a first set of carbon fibers parallel to a first axis of orientation and orienting a second set of carbon fibers parallel to a second axis of orientation;
- (iii) orienting the carbon fibers in a plurality of orientations;
- (iv) selecting a volume fraction of carbon fibers so that the base has a coefficient of thermal expansion within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member; and
- (v) selecting a volume fraction of carbon fibers so that the base comprises a coefficient of thermal expansion of from about 4 to about 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

35. A method according to claim 33 wherein step (c) comprises the steps of holding the base against the electrostatic member and infiltrating a metal into the base.

36. An electrostatic chuck for holding a substrate in a chamber, the electrostatic chuck comprising:

(a) an electrostatic member comprising a dielectric having a surface adapted to receive the substrate, the dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and

(b) a support below the electrostatic member, the support comprising a cavity adapted to hold gas to provide a predetermined temperature profile across the substrate.

37. An electrostatic chuck according to claim 36 wherein the support comprises at least one of the following characteristics:

(i) a cavity adapted to maintain a temperature differential of at least about 100°C between the electrostatic member and a surface of the chamber;

(ii) a cavity having a cross-sectional profile that is shaped in relation to the predetermined temperature profile;

(iii) a coefficient of thermal expansion within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member;

(iv) one or more of aluminum oxide, aluminum nitride, boron carbide, carbon, cordierite, mullite, silicon carbide, silicon nitride, silicon dioxide and zirconium oxide;

(v) one or more of aluminum, copper, molybdenum, titanium, tungsten, zirconium or mixtures thereof; or

(vi) the support is made from zirconium.

38. An electrostatic chuck according to claim 34 further comprising a heater between the electrostatic member and the cavity.

39. An electrostatic chuck according to claim 36 further comprising a base between the electrostatic member and the support, the base comprising a composite of a plurality of materials.

40. A method of processing a substrate in a chamber, the method comprising steps of:

- (a) placing the substrate on an electrostatic member in the chamber;
- (b) heating the substrate by powering a heater below the electrostatic member;
- (c) providing a gas in a cavity in a support below the electrostatic member; and
- (d) providing an energized process gas in the chamber to process the substrate.

41. A method according to claim 40 wherein step (c) comprises the initial step of shaping the cavity to provide a temperature differential of at least about 100°C between the electrostatic member and a surface of the chamber.

42. A method according to claim 40 wherein the pressure of gas is:

- (i) regulated to maintain substantially uniform temperatures across the substrate;

- (ii) less than 50 mTorr; or
- (iii) from about 2 to about 50 mTorr.

43. An electrostatic chuck for holding a substrate in a chamber, the electrostatic chuck comprising:

an electrostatic member comprising dielectric having a surface capable of receiving the substrate, the dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate;

a heater below the electrostatic member, the heater comprising a resistive heating element having a resistance sufficiently high to raise the temperature of the substrate by at least about 100°C; and

a support below the electrostatic member, the support comprising a cavity that is shaped and sized to hold a gas to provide a temperature drop of at least about 100°C between the electrostatic member and a surface of the chamber.

44. An electrostatic chuck according to claim 43 wherein the cavity is shaped to provide a predetermined temperature profile across the substrate.

45. An electrostatic chuck according to claim 43 wherein the cavity comprises a channel having a gas inlet and a gas outlet.

46. An electrostatic chuck according to claim 43 wherein the support comprises aluminum, copper, molybdenum, titanium, tungsten, zirconium or mixtures thereof.

47. An electrostatic chuck according to claim 43 wherein the support comprises zirconium.

48. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:

an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and

a base below the electrostatic member, the base comprising a heater.

49. An electrostatic chuck according to claim 48 wherein the heater comprises at least one of the following characteristics:

(i) a resistive heating element composed of tungsten, molybdenum, iron, nickel, copper, Inconel or alloys thereof;

(ii) a resistance sufficiently high to raise the temperature of a substrate held on the electrostatic member by at least about 100°C, or

(iii) the heater is substantially planar.

50. An electrostatic chuck according to claim 48 wherein the base comprises a composite of a plurality of materials.

51. An electrostatic chuck according to claim 50 wherein the composite comprises at least one of the following characteristics:

(i) a coefficient of thermal expansion within about $\pm 30\%$ of a coefficient of thermal expansion of the electrostatic member;

(ii) a ceramic and a metal; or

(iii) a porous ceramic infiltrated with a metal.

52. A method of fabricating an electrostatic chuck for holding a substrate, the method comprising the steps of:

(a) forming an electrostatic member comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and

(b) forming a base comprising a heater, the base having a surface that can be joined to the electrostatic member.

53. A method according to claim 52 comprising forming the base by infiltrating metal into a porous ceramic.

54. A method according to claim 53 comprising selecting a heater comprising a resistive heating element and embedding the heater in the porous ceramic.

55. A method according to claim 53 comprising infiltrating the porous ceramic with a metal comprising aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof.

56. A method according to claim 52 comprising forming a heater that is substantially planar.

57. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising:

(a) a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate; and

(b) an electrical connector connected to the electrode to conduct an electrical charge to the electrode, the electrical connector comprising a refractory metal having a melting temperature of at least about 1500°C .

58. An electrostatic chuck according to claim 57 wherein the electrical connector comprises at least one of the following characteristics:

- (i) one or more of tungsten, titanium, nickel, tantalum, molybdenum or alloys thereof;
- (ii) the electrical connector is bonded to the electrode by a metal having a softening temperature of less than about 600°C; or
- (iii) the electrical connector is bonded to the electrode by aluminum, indium or low melting point alloys.

59. An electrostatic chuck according to claim 57 further comprising a base below the dielectric, the base comprising a composite of a plurality of materials and wherein the electrical connector extends through a hole in the base.

60. An electrostatic chuck according to claim 59 wherein a bond layer bonds the base to the dielectric.

61. An electrostatic chuck according to claim 59 wherein the base comprises a porous ceramic infiltrated with a metal, and wherein an electrical contact portion between the electrical connector and the electrode comprises the same metal.

62. A method of fabricating an electrostatic chuck for holding a substrate, the method comprising the steps of:

- (a) forming a dielectric covering an electrode that is chargeable to hold the substrate, the dielectric having a hole exposing a portion of the electrode;
- (b) holding an electrical connector in the hole of the electrostatic chuck to form a gap between the electrical connector and the electrode; and
- (c) infiltrating a conducting liquid into the gap between the electrical connector and the electrode and solidifying the conducting liquid to electrically connect the electrical connector to the electrode.

63. A method according to claim 62 wherein infiltrating the conducting liquid into the gap comprises the step of applying a pressure to the conducting liquid of from about 100 to about 200 psi.

64. A method according to claim 62 wherein step (a) comprises forming a dielectric comprising a porous preform and step (c) comprises infiltrating the conducting liquid into the porous preform.

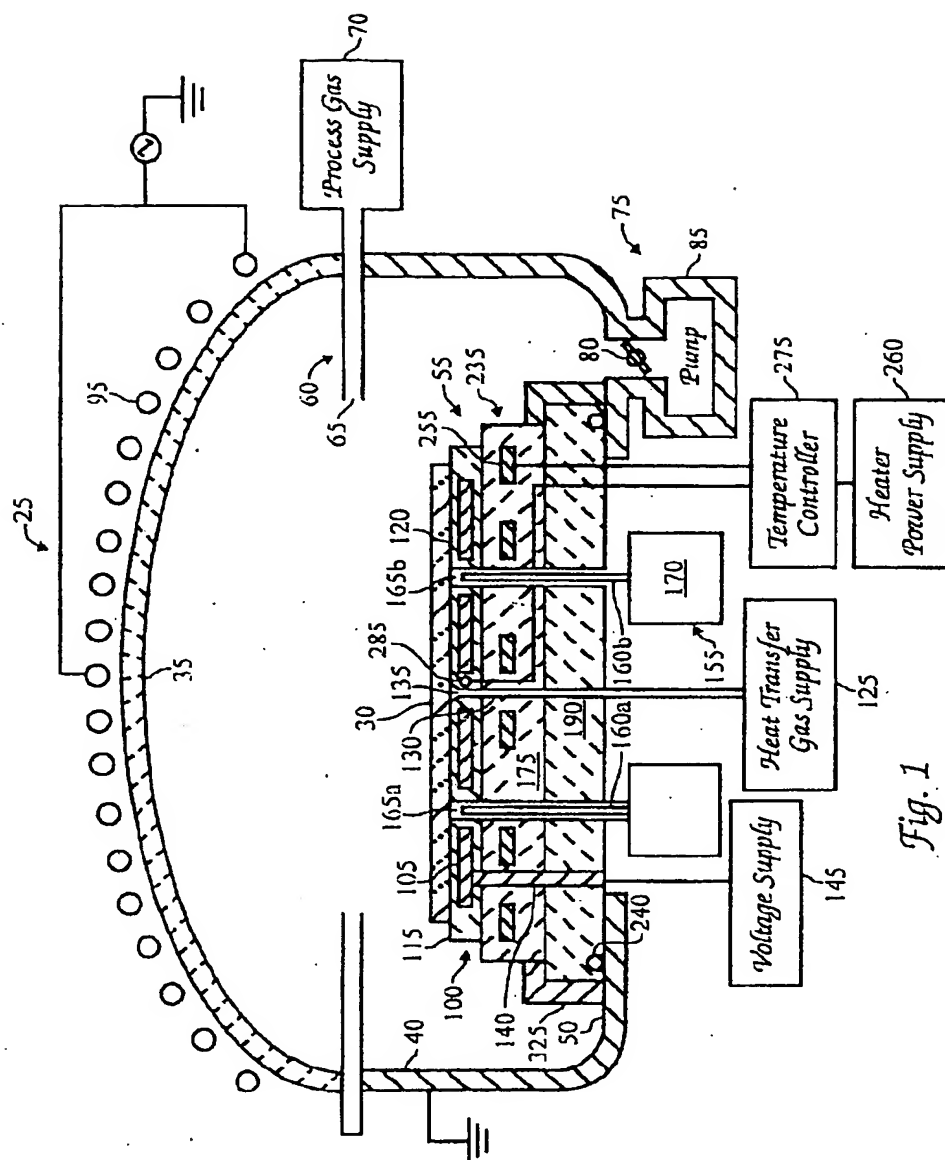
65. A method according to claim 62 comprising the initial step of forming an electrical connector comprising tungsten, titanium, nickel, tantalum, molybdenum or alloys thereof.

66. A method according to claim 62 wherein in step (c) comprises the step of infiltrating a conducting liquid comprising aluminum, copper, iron, molybdenum, titanium, tungsten or alloys thereof.

67. An electrostatic chuck for holding a substrate, the electrostatic chuck comprising a dielectric covering an electrode that is chargeable to electrostatically hold the substrate, and an electrical connector electrically connected to the electrode, the electrical connector extending through a bore in the dielectric, the bore comprising a first diameter smaller than a diameter of the electrical connector and a second diameter larger than the diameter of the electrical connector.

68. An electrostatic chuck according to claim 67 wherein the first diameter is sufficiently small to serve as a stop to the electrical connector thereby forming a gap between the electrode and the electrical connector.

69. An electrostatic chuck according to claim 67 wherein the electrical connector is electrically connected to the electrode by metal in a gap between the electrode and the electrical connector.



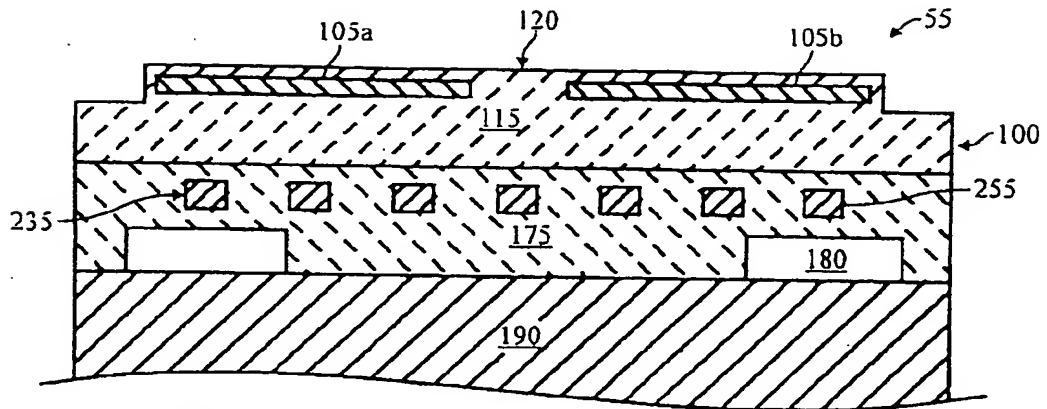


Fig. 2

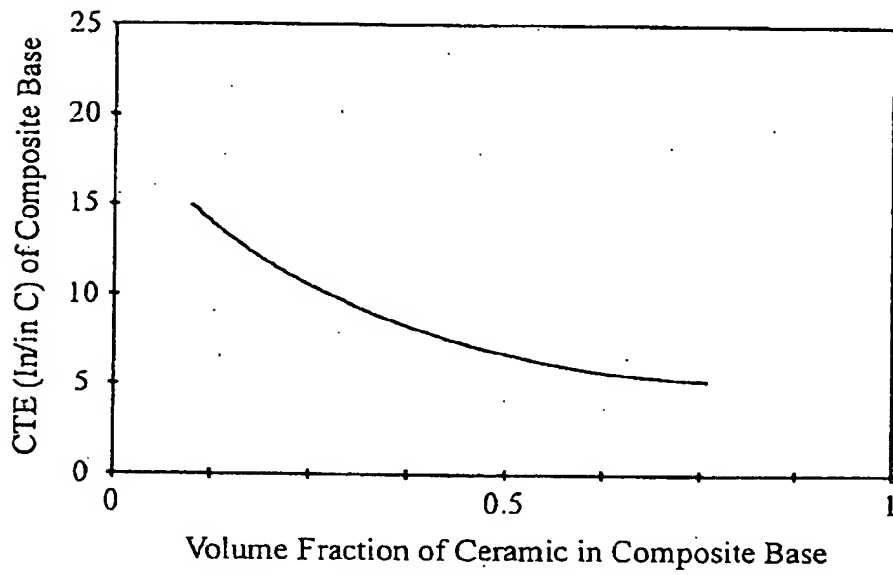
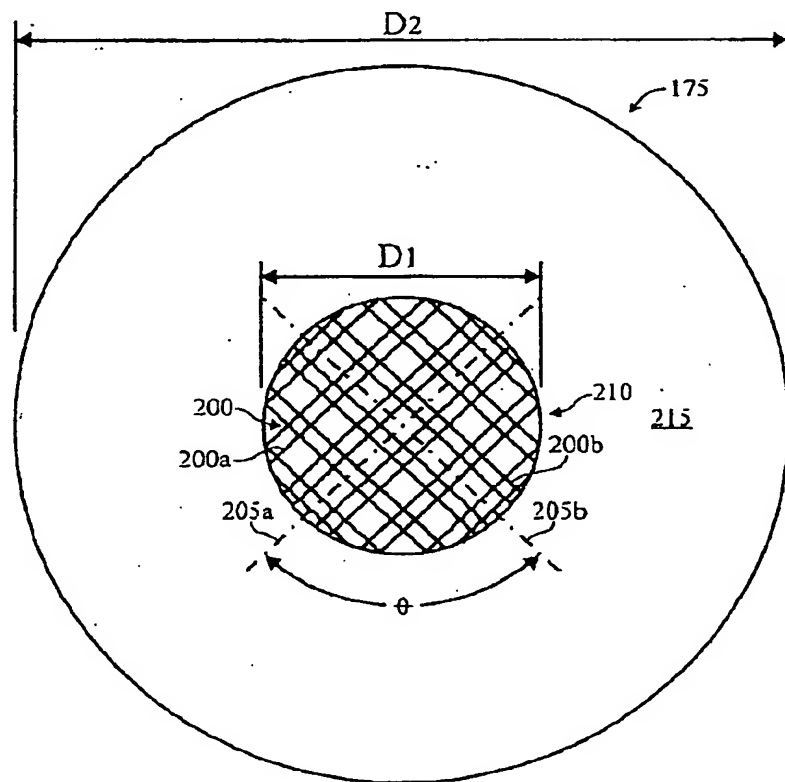
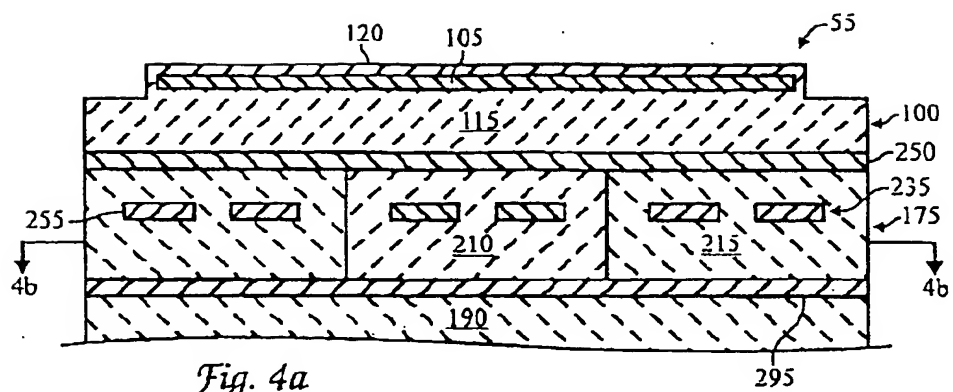


Fig. 3



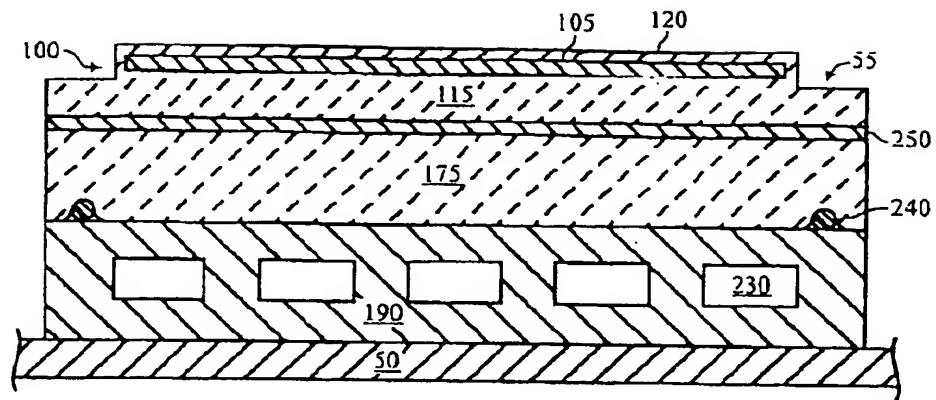


Fig. 5

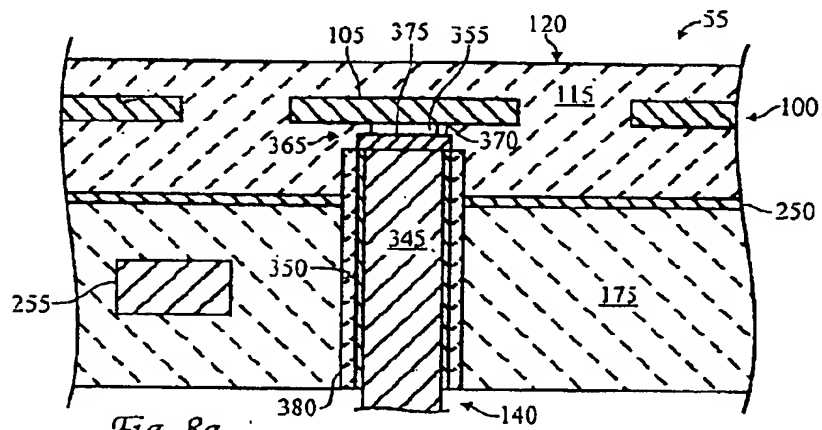


Fig. 8a

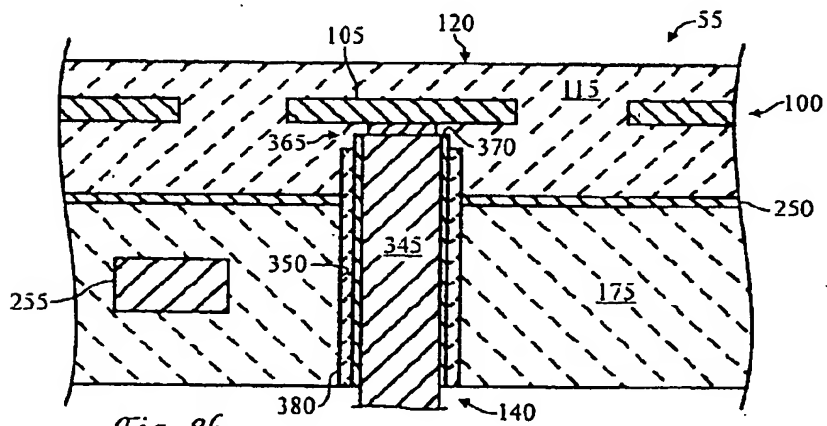


Fig. 8b

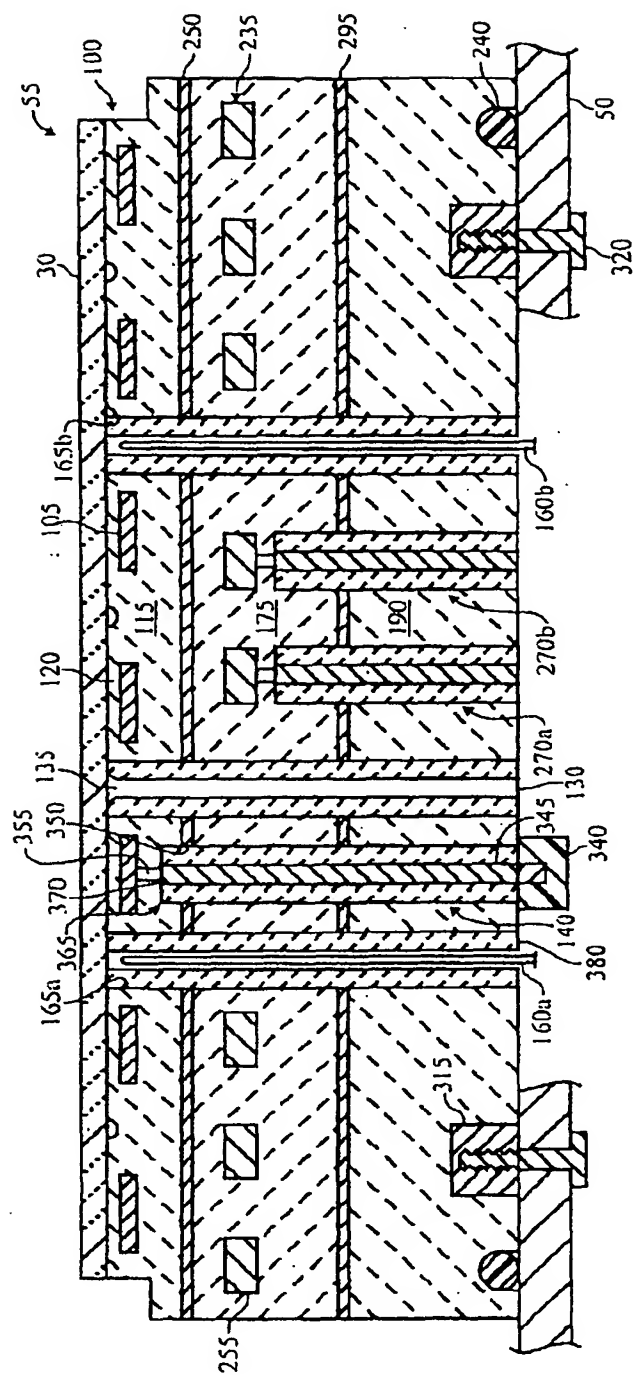
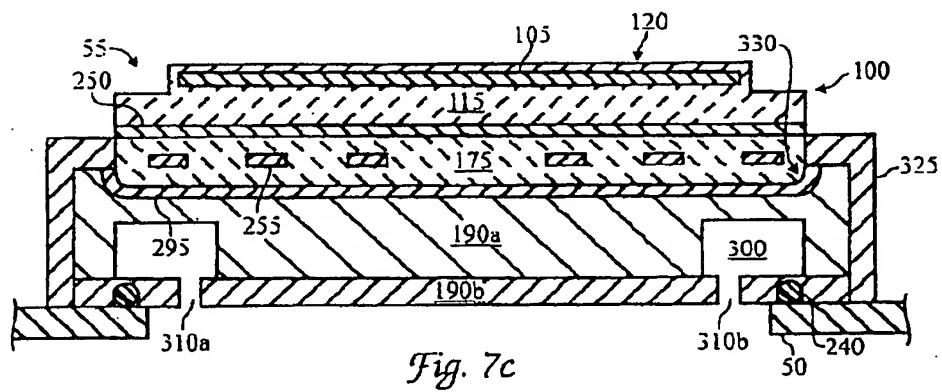
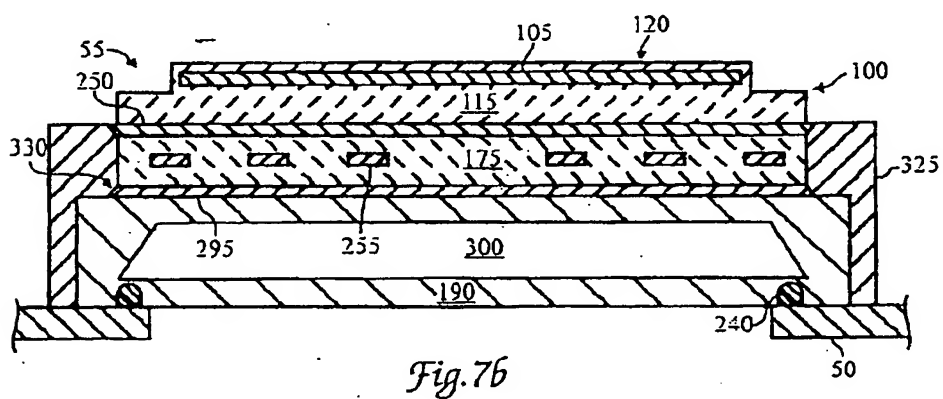
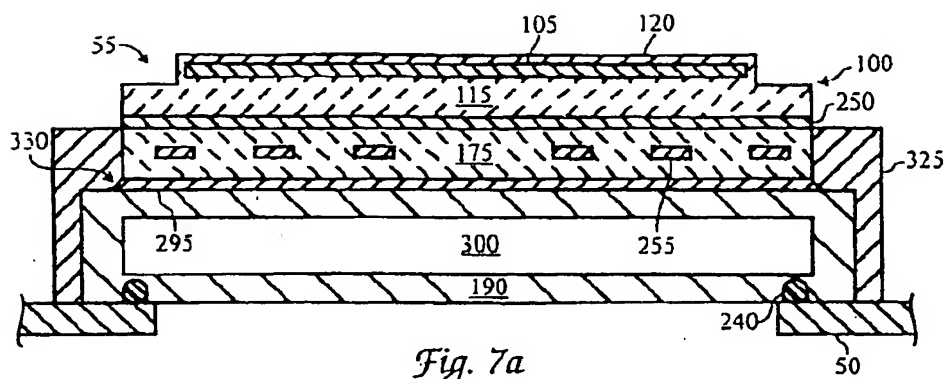


Fig. 6



ABSTRACT

An electrostatic chuck 55 comprises an electrostatic member 100 including a dielectric 115 having a surface 120 adapted to receive a substrate 30. The dielectric 115 covers an electrode 105 that is chargeable to electrostatically hold the substrate 30. An electrical connector 140 comprising a refractory metal may be connected to the electrode 105 to charge the electrode. The base 175 may comprise a composite of a plurality of materials, such as, ceramic and metal. Optionally, a support 190 can be provided to support the base 175, the support 190 comprising a cavity 300. One or more of the electrostatic member 100, base 175 and support 190 may be joined by a bond layer 250. A heater 235 may be positioned below or abutting the electrostatic member 100.